

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of)	
)	
Young-dong LEE et al)	Group Art Unit: Unassigned
)	
Application No.: Unassigned)	Examiner: Unassigned
)	
Filed: October 15, 2003)	Confirmation No.: Unassigned
)	
For: INDUCTIVELY COUPLED PLASMA)	
GENERATING APPARATUS)	
INCORPORATING SERPENTINE COIL)	
ANTENNA)	
)	

CLAIM FOR CONVENTION PRIORITY

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application in the following foreign country is hereby requested, and the right of priority provided in 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed:


Korean Patent Application No. 2002-62701
Filed: October 15, 2002

In support of this claim, enclosed is a certified copy of said prior foreign application. Said prior foreign application is referred to in the oath or declaration. Acknowledgment of receipt of the certified copy is requested.

Respectfully submitted,

BURNS, DOANE, SWECKER & MATHIS, L.L.P.

Date: October 15, 2003

By: 
Charles F. Wieland III
Registration No. 33,096

P.O. Box 1404
Alexandria, Virginia 22313-1404
(703) 836-6620

KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

This is to certify that the following application annexed hereto is a true copy from the records of the Korean Intellectual Property Office.

Application Number: Patent Application No. 2002-62701

Date of Application: 15 October 2002

Applicant(s): Samsung Electronics Co., Ltd.

30 October 2002

COMMISSIONER

1020020062701

2002/10/31

[Document Name] Patent Application

[Application Type] Patent

[Receiver] Commissioner

[Reference No.] 0002

[Filing Date] 2002.10.15

[IPC] H05H

[Title] Inductively coupled plasma generating apparatus with
serpentine coil antenna

[Applicant]

[Name] Samsung Electronics Co., Ltd.

[Applicant code] 1-1998-104271-3

[Attorney]

[Name] Young-pil Lee

[Attorney's code] 9-1998-000334-6

[General Power of Attorney Registration No.] 1999-009556-9

[Attorney]

[Name] Hae-young Lee

[Attorney's code] 9-1999-000227-4

[General Power of Attorney Registration No.] 2000-002816-9

[Inventor]

[Name] LEE, Young Dong

[I.D. No.] 700517-1122726

[Zip Code] 619-913

[Address] 23/1, 237-1 Icheon-ri, Ilwang-myeon, Gijang-gun, Busan,

[Nationality] Republic of Korea

[Inventor]

[Name] TOLMACHEV, Yuri

[Address] 841-404 Byeokjeokgol 8-danji, Youngtong-dong, Paldal-gu,
Suwon-city, Kyungki-do

[Nationality] Russia

1020020062701

2002/10/31

[[Inventor]

[Name] KIM, Seong Gu
[I.D. No.] 680402-1226115
[Zip Code] 450-761
[Address] 110-701 Chamiseul Apt., Hapjeong-dong, Pyeongtaek-city,
Kyungki-do
[Nationality] Republic of Korea

[Inventor]

[Name] SHIN, Jai Kwang
[I.D. No.] 640920-1380411
[Zip Code] 437-724
[Address] 104-1703 Hyoseongcheongsol Apt., Sam-dong, Euiwang-city,
Kyungki-do
[Nationality] Republic of Korea

[Request for Examination] Requested

[Application Order] We respectively submit an application according to Art. 42 of the
Patent Law and request and examination according to Art. 60 of the
Patent Law, as Above.

Attorney
Attorney

Young-pil Lee
Hae-young Lee

[Fee]

[Basic page]	20 Sheet(s)	29,000 won
[Additional page]	40 Sheet(s)	40,000 won
[Priority claiming fee]	0 Case(s)	0 won
[Examination fee]	24 Claim(s)	877,000 won
[Total]	946,000 Won	

[Enclosures]

1. Abstract and Specification (and Drawings)_1 copy



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

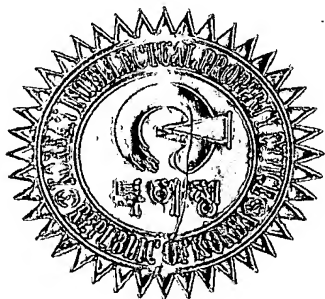
This is to certify that the following application annexed hereto
is a true copy from the records of the Korean Intellectual
Property Office.

출원 번호 : 10-2002-0062701
Application Number PATENT-2002-0062701

출원 년 월 일 : 2002년 10월 15일
Date of Application OCT 15, 2002

출원인 : 삼성전자 주식회사
Applicant(s) SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.

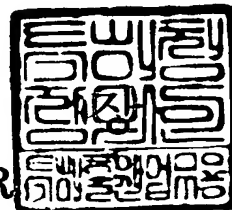
SI



2002 년 10 월 30 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0002
【제출일자】	2002. 10. 15
【국제특허분류】	H05H
【발명의 명칭】	사행 코일 안테나를 구비한 유도결합 플라즈마 발생장치
【발명의 영문명칭】	Inductively coupled plasma generating apparatus with serpentine coil antenna
【출원인】	
【명칭】	삼성전자 주식회사
【출원인코드】	1-1998-104271-3
【대리인】	
【성명】	이영필
【대리인코드】	9-1998-000334-6
【포괄위임등록번호】	1999-009556-9
【대리인】	
【성명】	이해영
【대리인코드】	9-1999-000227-4
【포괄위임등록번호】	2000-002816-9
【발명자】	
【성명의 국문표기】	이영동
【성명의 영문표기】	LEE, Young Dong
【주민등록번호】	700517-1122726
【우편번호】	619-913
【주소】	부산광역시 기장군 일광면 이천리 237-1번지 23통 1번
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	톨마체프 유리
【성명의 영문표기】	TOLMACHEV, Yuri
【주소】	수원시 팔달구 영통동 벽적골8단지 841동 404호
【국적】	RU

【발명자】

【성명의 국문표기】 김성구
【성명의 영문표기】 KIM, Seong Gu
【주민등록번호】 680402-1226115
【우편번호】 450-761
【주소】 경기도 평택시 합정동 참이슬아파트 110동 701호
【국적】 KR

【발명자】

【성명의 국문표기】 신재광
【성명의 영문표기】 SHIN, Jai Kwang
【주민등록번호】 640920-1380411
【우편번호】 437-724
【주소】 경기도 의왕시 삼동 효성청솔아파트 104동 1703호
【국적】 KR

【심사청구】

청구

【취지】

특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인
 이영필 (인) 대리인
 이해영 (인)

【수수료】

【기본출원료】	20 면	29,000 원
【가산출원료】	40 면	40,000 원
【우선권주장료】	0 건	0 원
【심사청구료】	24 항	877,000 원
【합계】		946,000 원

【첨부서류】

1. 요약서·명세서(도면)_1통

【요약서】**【요약】**

개시된 유도결합 플라즈마 발생장치는, 내부가 진공상태로 유지되는 반응챔버와, 반응챔버의 상부에 설치되어 반응챔버 내부로 주입된 반응가스를 이온화하여 플라즈마를 생성시키는 전기장을 유도하는 안테나와, 안테나에 연결되어 안테나에 RF 파워어를 공급하는 RF 전원을 구비하며, 상기 안테나는 원주방향을 따라 지그재그 형태로 꾸불꾸불하게 감겨진 적어도 하나의 사행 코일을 포함하는 서로 다른 반경을 가진 복수의 코일로 이루어진다. 그리고, 반응챔버의 외부에는 원주방향을 따라 다수의 영구자석이 배치될 수 있다. 또한, RF 전원과 안테나의 매칭 네트워크와 안테나 사이에는 LC 공명 현상의 유도를 위해 안테나와 병렬로 커패시터가 설치될 수 있다. 이와 같은 구성에 의하면, 안테나의 인덕턴스가 낮아지고, 용량결합에 의한 영향이 최소화되며, 플라즈마의 균일도를 향상시킬 수 있게 된다. 그리고, LC 공명 현상을 이용하여 효율적인 플라즈마의 방전 및 유지가 가능하게 된다.

【대표도】

도 6

【명세서】

【발명의 명칭】

사행 코일 안테나를 구비한 유도결합 플라즈마 발생장치{Inductively coupled plasma generating apparatus with serpentine coil antenna}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 종래의 유도결합 플라즈마 발생장치의 개략적인 구성을 도시한 도면이다.

도 2는 종래의 나선형 코일 안테나의 일례를 도시한 도면이다.

도 3a 및 도 3b는 도 2에 도시된 나선형 코일 안테나에 의한 반응챔버 내부의 유도 전기장의 분포와 플라즈마 밀도 분포를 보여준다.

도 4a 및 도 4b는 종래의 원형 코일 안테나에서 생성되는 자기장의 반경방향 성분의 분포를 보여준다.

도 5a 내지 도 5d는 종래의 코일 안테나의 다른 예들을 도시한 도면이다.

도 6은 본 발명의 제1 실시예에 따른 사행 코일 안테나를 구비한 유도결합 플라즈마 발생장치의 구성을 도시한 절개 사시도이다.

도 7은 도 6에 도시된 사행 코일 안테나를 확대하여 도시한 사시도이다.

도 8은 코일의 단면 형상에 따른 안테나 인덕턴스의 변화를 보여주는 그래프이다.

도 9는 코일의 수와 그 단면 형상 및 각 코일에 흐르는 전류의 방향에 따른 안테나 인덕턴스의 변화를 보여주는 그래프이다.

도 10은 본 발명의 제2 실시예에 따른 유도결합 플라즈마 발생장치에 구비된 사행 코일 안테나를 도시한 평면도이다.

도 11은 본 발명의 제3 실시예에 따른 유도결합 플라즈마 발생장치에 구비된 사행 코일 안테나를 도시한 평면도이다.

도 12a 내지 도 12g는 사행 코일 안테나의 여러가지 예들과 그 각각의 안테나에서 생성되는 자기장의 반경방향 성분의 분포를 보여준다.

도 13은 도 4a 및 도 4b에 도시된 원형 코일 안테나와 도 12a 내지 도 12g에 도시된 사행 코일 안테나의 인덕턴스를 계산한 결과를 나타낸 그래프이다.

도 14는 본 발명의 제4 실시예에 따른 유도결합 플라즈마 발생장치에 구비된 사행 코일 안테나와 영구자석의 배치를 도시한 평면도이다.

도 15는 본 발명의 제5 실시예에 따른 유도결합 플라즈마 발생장치에 구비된 사행 코일 안테나와 매칭 네트워크 및 LC 공명 현상의 유도를 위해 병렬로 연결된 커패시터의 배치를 도시한 평면도이다.

도 16은 안테나에 연결된 L-type 매칭 네트워크를 도시한 회로도이다.

도 17a 내지 도 17d는 도 15에 도시된 제5 실시예에서 커패시터에 의한 리액턴스의 변화에 따른 LC 공명 현상을 설명하기 위한 그래프들이다.

<도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>

110...반응 챔버

111...상부커버

112...정전척

114...가스주입구

115...가스분배구

116...유전체 윈도우

118...진공흡입구

119...진공펌프

120,220,320,420,520...사행 코일 안테나

122,222,226,322,422,522...원형 코일

124,224,324,326,424,426,524,526...사행 코일

128,228a,228b,328a,328b...연결 코일

132,232,332,532...RF 전원 530...매칭 네트워크

534...커패시터

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

<29> 본 발명은 유도결합 플라즈마 발생장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 플라즈마의 균일도(uniformity)를 향상시킬 수 있는 구조를 가진 안테나를 구비한 유도결합 플라즈마 발생장치에 관한 것이다.

<30> 현재 반도체 소자나 평판 디스플레이 장치(flat display panel)의 제조를 위한 기판의 미세가공공정에는 저압/저온 플라즈마를 응용한 기술이 많이 이용되고 있다. 즉, 플라즈마는 반도체 소자 제조용 웨이퍼나 LCD(liquid crystal display) 제조용 기판의 표면을 식각하거나 그 표면에 소정의 물질막을 증착하는데 널리 사용되고 있다. 특히, 높은 집적도의 반도체 소자의 제조를 위한 기판의 식각 또는 박막 증착 공정에는 플라즈마를 이용하는 장비가 점차로 늘어 가고 있는 추세이다. 이에 따라, 각각의 공정에 적합한 플라즈마 발생장치의 개발은 반도체 제조 및 장비 개발에 있어 핵심적인 요소가 되고 있다. 최근의 반도체 공정용 플라즈마 장비 개발에 있어서 가장 큰 주안점은 수율의 향상을 위한 기판의 대면적화에 대한 부응과 고집적화 공정의 수행 능력이다. 즉, 기존의

200mm 웨이퍼에서 최근의 300mm 웨이퍼로의 대면적화에 따른 웨이퍼 처리공정의 균일도 향상과 아울러 높은 플라즈마 밀도의 유지는 가장 먼저 해결되어야 하는 요소기술이다. 지금까지 반도체 제조공정에 사용되어 왔던 플라즈마 장비로는 크게 CCP(capacitive coupled plasma), ECR(electron cyclotron resonance), Helicon, ICP(inductively coupled plasma) 등이 있으며, 이들을 혼합한 복합 소스(source) 들도 현재 제안되고 있다. 이 중에 유도결합 플라즈마(ICP) 장비는 다른 장비에 비해 고밀도/고균일의 플라즈마를 쉽게 얻을 수 있는 장점이 있고, 특히 그 구조가 간단하여 300mm 대면적 웨이퍼를 위한 차세대 장비로 주목을 받고 있다. 그러나, 기존의 200mm 웨이퍼용 ICP 장비의 단순한 크기 확대를 통한 300mm 웨이퍼용 ICP 장비의 구현은 ICP 방전(discharge)의 기본이 되는 안테나 설계의 어려움으로 인해 많은 제약을 받고 있다.

<31> 도 1은 종래의 유도결합 플라즈마 발생장치의 개략적인 구성을 도시한 도면이다.

<32> 도 1에 도시된 바와 같이, 유도결합 플라즈마 발생장치는 그 내부에 플라즈마 형성 공간이 마련된 반응챔버(reaction chamber, 10)를 구비한다. 상기 반응챔버(10)의 내부 아래쪽에는 기판, 예컨대 웨이퍼(W)를 지지하는 정전척(electrostatic chuck, 12)이 마련되어 있고, 반응챔버(10)의 상부커버(11)에는 유전체 윈도우(dielectric window, 16)가 설치되어 있다. 반응챔버(10)의 측

벽에는 반응가스를 반응챔버(10) 내부로 주입하기 위한 가스주입구(14)가 형성되어 있으며, 반응챔버(10)의 내부에는 가스주입구(14)와 연결되는 다수의 가스분배구(gas distribution port, 15)가 마련되어 있다. 반응챔버(10)의 바닥벽에는 진공펌프(19)에 연결되는 진공흡입구(vacuum suction port, 18)가 형성되어 있으며, 이를 통해 반응챔버(10) 내부를 진공상태로 만들게 된다. 그리고, 상기 유전체 윈도우(16)의 상부에는 반응챔버(10) 내부에 플라즈마를 생성시키기 위한 코일 안테나(20)가 설치되어 있다.

<33> 상기 코일 안테나(20)에는 RF 전원이 연결되어 RF 전류가 흐르게 된다. 코일 안테나(20)를 통해 흐르는 RF 전류에 의해 자기장(magnetic field)이 발생되며, 이 자기장의 시간에 따른 변화에 의해 반응챔버(10) 내부에는 전기장(electric field)이 유도된다. 이와 동시에, 반응가스가 가스분배구(15)를 통해 반응챔버(10) 내부로 유입되며, 유도 전기장에 의해 가속된 전자들은 충돌과정을 통해 반응가스를 이온화시켜 반응챔버(10)내에 플라즈마를 생성한다. 생성된 플라즈마는 웨이퍼(W) 표면과의 화학반응과정을 통해 웨이퍼(W)를 원하는 바에 따라 처리, 예컨대 식각하게 된다. 한편, 플라즈마에서 빠져나와 웨이퍼(W)에 충돌하는 이온의 에너지를 증가시키기 위한 바이어스 전압을 제공하기 위해 또 하나의 RF 전원이 일반적으로 정전척(12)에 연결된다.

<34> 도 2는 종래의 나선형 코일 안테나의 일례를 도시하며, 도 3a 및 도 3b는 도 2에 도시된 나선형 코일 안테나에 의한 반응챔버 내부의 유도 전기장의 분포와 플라즈마의 밀도 분포를 보여준다.

<35> 도 2에 도시된 바와 같이, 현재 가장 일반적으로 사용되는 나선형 코일 안테나(spiral coil antenna, 30)는 나선형으로 감겨진 단일의 전도체 코일로 구성되어 있다. 이와 같은 나선형 코일 안테나(30)에 의하면, 유도되는 전기장 세기가 균일하지 않은 단

점이 있다. 즉, 도 3a에 도시된 바와 같이, 안테나의 중심부위(center portion)와 가장자리부위(edge portion)에서는 유도 전기장의 세기가 비교적 약하고, 그 사이의 중간부위(middle portion)에서 유도 전기장의 세기가 가장 강하게 나타나게 된다. 이에 따라, 도 3b에 도시된 바와 같이, 반응챔버의 중심부위와 가장자리부위의 사이, 즉 중간부위에서 플라즈마의 생성 밀도가 가장 높게 된다. 이와 같이 반응챔버의 중간부위에서 집중적으로 발생된 플라즈마는 아래쪽의 웨이퍼로 확산된다. 따라서, 플라즈마와 웨이퍼의 반응이 일어나는 웨이퍼 표면 부근에서도 그 중간부위의 플라즈마 밀도가 가장 높게 되고, 그 중심부위도 안테나의 중간부위에서 확산되는 플라즈마로 인해 플라즈마 밀도가 비교적 높은데 반하여, 가장자리부위는 플라즈마 밀도가 낮아지게 된다. 이와 같이 플라즈마 밀도 분포가 비균일하게 되면, 기판의 식각 깊이나 증착되는 물질막의 두께가 위치에 따라 차이가 나는 문제점이 발생된다. 특히, ICP 장비가 대형화됨에 따라 반응챔버의 직경이 커지게 되므로 상기한 플라즈마 밀도 분포의 비균일성은 더욱 심해지게 된다.

<36> 그리고, 반응챔버 내에 높은 플라즈마 밀도의 유지를 위해서는 ICP 장비의 대형화에 따라 안테나(30)의 반경 및 코일의 감은 턴(turn)수를 증가시켜야 하는데, 이에 따라 안테나(30)의 자체 인덕턴스(inductance)가 증가하게 되는 문제점이 있다. 안테나(30)의 인덕턴스가 증가하게 되면, 안테나(30)에 인가되는 전압이 높아지게 되어 RF 파워의 용량결합(capacitive coupling)이 일어나게 된다. 이러한 용량결합은 이온의 운동에너지를 과도하게 증가시키게 되므로 공정의 정밀한 제어가 곤란하게 되며, 높은 운동에너지를 가진 이온이 반응챔버의 내벽에 강하게 충돌하게 되어 파티클이 생성되는 문제점이 있다. 또한, 용량결합에 의해 플라즈마 방전 효율이 낮아지게 되는 문제점도 있다.

- <37> 도 4a와 도 4b는 종래의 원형 코일 안테나에서 생성되는 자기장의 반경방향 성분의 분포를 보여준다. 도 4a와 도 4b에서 왼쪽은 안테나의 구조와 이 안테나에 의해 생성되는 자기장의 반경방향 성분(B_r)의 분포를 보여주는 도면이며, 오른쪽은 안테나의 중심으로부터의 거리에 따른 자기장의 반경방향 성분(B_r)의 세기를 나타낸 그래프이다. 오른쪽 그래프는, 안테나 코일 단면의 중심으로부터 아래쪽으로 5cm 떨어진 지점에 형성된 자기장의 반경방향 성분(B_r)의 분포를 전자기장 해석 소프트웨어인 벡터 필드(Vector Fields)를 사용해서 시뮬레이션해 본 결과를 나타낸 것이며, 이 때 안테나를 이루는 각 코일에 흐르는 전류는 코일의 단면 전체에 걸쳐 균일하게 분포되어 흐른다고 가정하였다.
- <38> 도 4a에 도시된 안테나는 반경이 각각 7cm, 14cm 및 21cm 인 3 개의 원형 코일이 동심원상에 배치되어 이루어진 안테나로서, 각 코일은 폭과 높이가 각각 6mm 인 정사각형 단면을 가지고 있으며, 각 코일을 흐르는 전류의 방향이 같도록 되어 있다.
- <39> 이와 같이, 각 코일에 흐르는 전류의 방향이 동일한 경우에는, 안테나의 중간부위 근처에서 자기장의 세기가 가장 높게 나타나고, 안테나의 중심부위 가까이에서도 여전히 높은 자기장의 세기를 보이게 된다. 자기장의 세기가 큰 부위에서 주로 생성되는 플라즈마는 확산과정을 통해 반응챔버 전체로 퍼져 나가게 되는데, 위와 같은 자기장의 분포를 가진 경우에는 반응챔버의 중심부위에서 가장자리부위로 갈수록 플라즈마 밀도가 낮아지는 분포를 보이게 된다.
- <40> 도 4b에 도시된 안테나는 도 4a에 도시된 안테나와 그 구조는 동일하나, 서로 이웃한 코일에 흐르는 전류는 서로 반대방향으로 흐르도록 되어 있다.

- <41> 이와 같이 서로 이웃한 코일에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대인 경우에는, 도 13에 도시된 바와 같이 그 안테나의 인덕턴스가 도 4a에 도시된 안테나의 인덕턴스에 비해 대략 50% 정도 감소하게 되지만, 안테나의 중심 가까이에 생기는 자기장 세기의 피크(peak)로 인해 플라즈마 균일도의 향상을 기대 하기는 어렵다.
- <42> 도 5a 내지 도 5d에는 상기한 종래의 코일 안테나가 가진 문제점들을 해소하기 위해 제안된 여러가지 형태의 안테나들이 도시되어 있다.
- <43> 도 5a에 도시된 안테나(40)는, 미국 특허 번호 US 5,346,578호에 개시된 것으로서, 반응챔버(42)의 상부커버(44)를 돔 형상으로 제작하고, 그 상부에 종래의 나선형 코일을 돔 형상으로 감아 놓은 것이다. 이와 같은 돔 형상의 안테나(40)는 그 기하학적인 특성으로 인해 높은 플라즈마 균일도를 얻을 수 있는 장점이 있다.
- <44> 그러나, 돔 형상의 상부커버(44)는 그 제작이 어렵고 안테나(40)에 의한 열팽창 응력(stress)의 문제가 있으며, 또한 상부커버(44)의 상단부에서 하단부까지 원형으로 감겨진 코일의 길이가 매우 길어짐에 따라 안테나(40)의 인덕턴스가 커지게 되어 낮은 RF 주파수를 사용해야 하는 문제가 있다. 특히, 300mm 웨이퍼용으로 장비의 크기가 확대됨에 따라 안테나(40)의 감은 턴 수와 반경이 함께 늘어나게 되고, 이에 따라 상기한 바와 같은 문제는 더욱 심각해지게 된다.
- <45> 도 5b에 도시된 안테나(50)는 미국 특허 번호 US 5,401,350호에 개시된 것으로서, 반응챔버(52)의 상부에는 나선형 코일 안테나(50a)를 설치하고, 반응챔버(52)의 측벽 외측에 솔레노이드 형태로 감은 안테나(50b)를 별도로 구비하여, 기존의 나선형 코일 안테나가 가지고 있는 문제점인 반응챔버(52) 가장자리부위의 낮은 플라즈마 밀도를 보상해주고 있다. 그러나, 이 안테나(50)는 종래의 나선형 안테나가 가지는 문제점을 그대로

가지고 있으며, 또한 두 개의 독립된 RF 전원을 사용하기 때문에 외부에서 조절해 주어야 하는 공정 변수들이 많아지는 단점이 있다.

- <46> 실제로 상기한 도 5a 및 도 5b에 도시된 안테나를 이용한 유도결합 플라즈마 발생 장치는 표준 주파수인 13.56 MHz 에 비해 상당히 낮은 RF 주파수를 사용하고 있다.
- <47> 도 5c에 도시된 안테나(60)는 미국 특허 번호 US 6,291,793호에 개시된 것으로서, 이 안테나(60)는 종래의 직렬로 연결되어 있는 단일 나선형 안테나와 다르게, 병렬로 분기하는 다수의 나선형 코일(62, 64, 66)로 이루어져 있다. 이와 같은 다중 병렬형 안테나(60)는 분기하는 코일(62, 64, 66)의 수가 증가함에 따라 안테나(60)의 자체 인덕턴스가 낮아지는 장점을 가지고 있다. 그러나, 플라즈마의 균일도를 확보할 수 있는 뚜렷한 특징은 가지고 있지 않아, 플라즈마의 균일도가 만족스럽지 않은 것으로 보고되고 있다.
- <48> 도 5d에 도시된 안테나(70)는 미국 특허 번호 US 6,288,493호에 개시된 것으로서, 병렬로 분기된 다수의 원형 코일(71, 72, 73, 74)에 연결된 가변 커패시터(76)를 이용하여 안테나 코일들(71, 72, 73, 74) 사이에 LC 공명 현상을 유도할 수 있다. 따라서, 전류의 크기와 위상의 조절이 가능하여 높은 플라즈마 균일도를 확보할 수 있고, 병렬 구조의 특징인 안테나 인덕턴스가 낮다는 장점이 있다. 현재까지 개발된 원형 코일로 이루어진 안테나 중에서 가장 진보된 개념의 안테나라 할 수 있을 것이다. 그러나, 병렬로 분기된 안테나 코일들(71, 72, 73, 74) 사이에 LC 공명 현상이 일어날 경우, 최외곽 코일(74)에 과도한 전류가 흐르게 되어 병렬로 분기되는 지점(75)에서 아크(arc)가 발생하는 문제점을 보인다.

<49> 이와 같이, 종래의 안테나들은 상기한 문제점들로 인해 공정 조건의 변화에 적절히 대처하여 높은 플라즈마의 균일도를 확보하기가 곤란한 단점을 가지고 있다. 특히, 최근 웨이퍼의 크기가 대형화되어 가는 추세에 있어서, 종래의 안테나 구조로는 웨이퍼 가장자리 부근에서의 플라즈마 밀도 분포의 균일도를 유지하기가 점차 더 어려워지고 있으며, 이는 반도체 소자의 품질이나 수율을 현저하게 떨어뜨리게 된다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<50> 본 발명은 상기와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 창출된 것으로서, 그 첫째 목적은 플라즈마 균일도를 향상시키고, 안테나 인덕턴스를 감소시킬 수 있으며, 용량결합을 억제할 수 있는 구조를 가진 사행 코일 안테나를 구비한 유도결합 플라즈마 발생장치를 제공하는데 있다.

<51> 그리고, 본 발명의 다른 목적은 LC 공명 현상을 이용하여 초기 플라즈마 방전을 용이하게 하며, 높은 플라즈마 균일도를 확보할 수 있는 구조를 가진 안테나를 구비한 유도결합 플라즈마 발생장치를 제공하는데 있다.

【발명의 구성 및 작용】

<52> 상기한 목적을 달성하기 위하여 본 발명은,

<53> 내부가 진공상태로 유지되는 반응챔버;

<54> 상기 반응챔버의 상부에 설치되어 상기 반응챔버 내부로 주입된 반응가스를 이온화하여 플라즈마를 생성시키는 전기장을 유도하는 안테나; 및

<55> 상기 안테나에 연결되어 상기 안테나에 RF 파워어를 공급하는 RF 전원;을 구비하며,

- <56> 상기 안테나는 서로 다른 반경을 가진 복수의 코일로 이루어지며, 상기 복수의 코일 중 적어도 하나는 원주방향을 따라 지그재그 형태로 꾸불꾸불하게 감겨진 사행 코일인 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치를 제공한다.
- <57> 본 발명의 바람직한 제1 실시예에 의하면, 상기 안테나는 그 중심부위에 배치되는 원형 코일과, 상기 원형 코일의 바깥쪽에 배치되며 상기 원형 코일과 연결되는 사행 코일로 이루어진다.
- <58> 본 발명의 바람직한 제2 실시예에 의하면, 상기 안테나는 그 중심부위에 배치되는 제1 원형 코일과, 상기 제1 원형 코일의 바깥쪽에 배치되며 상기 제1 원형 코일과 연결되는 사행 코일과, 상기 사행 코일의 바깥쪽에 배치되며 상기 사행 코일과 연결되는 제2 원형 코일로 이루어진다.
- <59> 본 발명의 바람직한 제3 실시예에 의하면, 상기 안테나는 그 중심부위에 배치되는 원형 코일과, 상기 원형 코일의 바깥쪽에 배치되며 상기 원형 코일과 연결되는 제1 사행 코일과, 상기 제1 사행 코일의 바깥쪽에 배치되며 상기 제1 사행 코일과 연결되는 제2 사행 코일로 이루어진다.
- <60> 상기 실시예들에 있어서, 상기 원형 코일과 상기 사행 코일 사이의 서로 인접하여 마주보는 부분의 면적을 줄이기 위해 상기 원형 코일의 반경은 비교적 작게 형성되는 것이 바람직하다.
- <61> 그리고, 상기 사행 코일의 지그재그 형태는 원주방향을 따라 등간격으로 다수회 반복되는 것이 바람직하다.

- <62> 또한, 상기 사행 코일은 방사상으로 뻗어 나간 다수의 외측 부분과 중심부위쪽으로 구부러져 들어온 다수의 내측 부분을 가진다. 상기 내측 부분은 자기장 성분의 완만한 증가를 위해 상기 반응챔버의 중심부위 가까이에 배치되는 것이 바람직하다. 한편, 상기 외측 부분에서 발생된 자기장 성분은 바깥쪽으로 가면서 빠르게 감소하게 되므로 상기 외측 부분은 상기 반응챔버 내의 기관의 가장자리부위에 대응하는 위치에 배치되는 것이 바람직하다.
- <63> 또한, 상기 복수의 코일들 사이의 연결은 연결코일에 의해 이루어지며, 상기 연결 코일은 그 영향을 최소화하기 위해 상기 복수의 코일들이 놓여 있는 평면보다 수직방향으로 높은 위치에 배치되는 것이 바람직하다.
- <64> 또한, 플라즈마와의 용량결합에 의한 영향을 최소화하기 위해 상기 복수의 코일 각각은 폭이 높이보다 작은 직사각형 단면을 가진 것이 바람직하다.
- <65> 한편, 상기 복수의 코일 각각은 원형 단면을 가질 수도 있다. 이는 상기 복수의 코일 각각의 표면을 따라 흐르는 전류의 불균일한 분포에 의한 저항의 증가를 방지하는데 바람직하다. 그리고, 상기 복수의 코일 각각의 내부에 냉각수 통로가 형성될 경우에, 상기 냉각수 통로를 통한 냉각수의 흐름을 원활하게 하기 위해서도 상기 복수의 코일 각각은 원형 단면을 가지는 것이 바람직하다.
- <66> 한편, 본 발명의 바람직한 제4 실시예에 의하면, 상기 반응챔버의 외부에는 원주방향을 따라 다수의 영구자석이 배치될 수 있다.
- <67> 상기 실시예에 있어서, 상기 다수의 영구자석은 상기 안테나에 의해 형성되는 자기장의 세기가 상대적으로 약한 부위에 배치되는 것이 바람직하다.

- <68> 그리고, 상기 다수의 영구자석은 그 배치의 최적화를 얻기 위해 상기 반응챔버의 중심축을 중심으로 회전가능하도록 설치되어 상기 안테나에 의해 형성되는 자기장의 세기 분포에 따라 위치를 조절할 수 있도록 된 것이 바람직하다.
- <69> 이와 같은 구성에 의하면, 안테나의 인덕턴스가 낮아지고, 용량결합에 의한 영향이 최소화되며, 플라즈마의 균일도를 향상시킬 수 있게 된다.
- <70> 그리고, 본 발명은,
- <71> 그 내부가 진공상태로 유지되는 반응챔버;
- <72> 상기 반응챔버의 상부에 설치되어 상기 반응챔버 내부로 주입된 반응가스를 이온화하여 플라즈마를 생성시키는 전기장을 유도하는 안테나;
- <73> 상기 안테나에 연결되어 상기 안테나에 RF 파워어를 공급하는 RF 전원; 및
- <74> 상기 RF 전원과 상기 안테나의 매칭 네트워크와 상기 안테나 사이에 상기 안테나와 병렬로 설치되는 커패시터;를 구비하는 유도결합 플라즈마 발생장치를 제공한다.
- <75> 본 발명의 바람직한 제5 실시예에 의하면, 상기 안테나를 이루는 복수의 코일은 상기 RF 전원에 직렬로 연결될 수 있다.
- <76> 한편, 상기 안테나를 이루는 복수의 코일 중 적어도 일부 코일은 상기 RF 전원에 병렬로 연결될 수도 있다.
- <77> 이와 같은 구성에 의하면, 커패시터에 의한 LC 공명 현상을 이용하여 효율적인 플라즈마의 방전 및 유지가 가능하게 된다.
- <78> 이하, 첨부된 도면을 참조하면서 본 발명에 따른 유도결합 플라즈마 발생장치의 바람직한 실시예들을 상세히 설명한다.

- <79> 도 6은 본 발명의 제1 실시예에 따른 사행 코일 안테나를 구비한 유도결합 플라즈마 발생장치의 구성을 도시한 절개 사시도이고, 도 7은 도 6에 도시된 사행 코일 안테나를 확대하여 도시한 사시도이다.
- <80> 도 6과 도 7을 함께 참조하면, 본 발명에 따른 유도결합 플라즈마 발생장치는 안테나(120)에 의해 생성되는 플라즈마를 이용하여 반도체 소자 제조용 기판, 예컨대 웨이퍼(W)의 표면을 식각하거나 그 표면 상에 소정의 물질막을 증착하는 등 미세가공하기 위한 반도체 제조장치이다.
- <81> 상기 유도결합 플라즈마 발생장치는, 그 내부에 플라즈마 형성 공간이 마련된 반응챔버(reaction chamber, 110)를 구비한다. 반응챔버(110)의 내부는 진공상태로 유지되며, 이를 위해 반응챔버(110)의 바닥벽에는 진공펌프(119)에 연결되는 진공흡입구(118)가 형성된다. 반응챔버(110)의 내부 아래쪽에는 기판, 예컨대 웨이퍼(W)를 지지하는 정전척(112)이 마련되며, 이 정전척(112)에는 RF 전원(134)이 연결되어 반응챔버(110) 내에 생성된 플라즈마로부터 빠져나온 이온이 웨이퍼(W)의 표면에 충분히 높은 에너지를 가지고 충돌할 수 있도록 바이어스 전압을 제공한다. 반응챔버(110)의 상부커버(111)에는 RF 파워어가 투과될 수 있도록 유전체 윈도우(116)가 설치된다. 반응챔버(110)의 측벽에는 반응가스를 반응챔버(110) 내부로 주입하기 위한 가스주입구(114)가 형성되며, 이 가스주입구(114)와 연결되는 다수의 가스분배구(115)가 반응챔버(110)의 내부에 마련될 수 있다.
- <82> 그리고, 상기 반응챔버(110)의 상부, 즉 유전체 윈도우(116)의 상부에는 반응챔버(110) 내부로 주입된 반응가스를 이온화하여 플라즈마를 생성시키는 전기장을 유도하는 안테나(120)가 설치된다. 이 안테나(120)에는 RF 파워어를 공급하기 위한 RF 전원(132)

이 연결된다. 따라서, 안테나(120)를 이루는 각 코일에는 RF 전류가 흐르게 되며, 이에 따라 암페어의 오른나사 법칙에 의해 자기장이 발생되고, 이 자기장의 시간에 따른 변화에 의해 반응챔버(110) 내부에는 패러데이 전자기 유도법칙에 따른 원주방향으로의 전기장이 유도된다. 유도 전기장은 전자를 가속시키고, 이 전자는 가스분배구(115)를 통해 반응챔버(110) 내부로 유입된 반응가스를 이온화시켜 플라즈마를 생성하게 된다.

<83> 상기 안테나(120)는, 도 7에 도시된 바와 같이, 그 중심부위에 배치되는 원형 코일(122)과, 상기 원형 코일(122)의 바깥쪽에 배치되는 사행 코일(serpentine coil, 124)로 이루어진다. 상기 사행 코일(124)은 원주방향을 따라 지그재그 형태로 꾸불꾸불하게 감겨지며, 지그재그 형태는 원주방향을 따라 등간격으로 다수회 반복된다. 지그재그 형태의 반복 회수는 안테나(120)의 반경에 의존하게 되는데, 도시된 바와 같이 6회일 수도 있으나, 안테나(120)의 반경이 큰 경우에는 8회 또는 그 이상일 수도 있으며, 안테나(120)의 반경이 작은 경우에는 6회보다 적을 수도 있다. 사행 코일(124)은 방사상으로 뻗어 나간 다수의 외측 부분(124a)과 중심부위의 원형 코일(122)쪽으로 구부러져 들어온 다수의 내측 부분(124b)을 가진다. 사행 코일(124)의 내측 부분(124b)은 자기장 성분의 완만한 증가를 위해 원형 코일(122)과 인접하게 배치된다. 그리고, 사행 코일(124)의 외측 부분(124a)에서 발생된 자기장 성분은 바깥쪽으로 가면서 빠르게 감소하게 되므로, 상기 외측 부분(124a)은 반응챔버(110) 내의 웨이퍼의 가장자리부위에 대응하는 위치에 배치된다. 이와 같은 사행 코일(124)은 같은 길이를 가지고 만들 수 있는 종래의 원형 코일에 비해 둘러싸고 있는 면적이 줄어들게 되므로 안테나(120)의 인덕턴스가 낮아지는 장점이 있다.

- <84> 한편, 도 6과 도 7에는 사행 코일(124)의 구부러진 모서리부분이 각지게 형성된 것으로 도시되어 있으나, 제작의 용이성을 위해 그 구부러진 모서리부분이 둥글게 형성될 수도 있다. 이러한 점은 이하의 도면에 도시된 안테나들에 있어서 모두 동일하다.
- <85> 그리고, 원형 코일(122)의 반경과 사행 코일(124)의 내측 반경과 외측 반경은 반응 챔버(110)의 크기에 따라 적절하게 조절될 수 있다. 특히, 용량결합(capacitive coupling)에 의한 영향을 감소시키기 위해서는 원형 코일(122)의 반경과 사행 코일(124)의 내측 반경은 가능한 한 작은 것이 바람직하다. 이는, 원형 코일(122)과 인접하여 마주보는 사행 코일(124)의 내측 부분(124b)의 면적이 작아지게 되어, 안테나(120)의 커패시턴스가 줄어들게 되기 때문이다. 다만, 원형 코일(122)의 반경과 사행 코일(124)의 내측 반경이 너무 작으면, 후술하는 바와 같이 코일(122, 124) 내부에 냉각수 통로를 형성하는 경우에 그 제작이 곤란해지며, 전기적 저항이 커지게 되므로, 이러한 점을 고려하여 원형 코일(122)의 반경과 사행 코일(124)의 내측 반경을 정하여야 한다.
- <86> 한편, 코일(122, 124) 내부에 냉각수 통로(미도시)를 형성하는 경우에는, 냉각수 통로를 통한 냉각수의 흐름을 원활하게 하기 위해서 코일(122, 124) 각각의 단면을 원형으로 할 수 있다. 또한, 코일(122, 124)의 단면이 원형으로 된 경우에는 코일(122, 124) 각각의 표면을 따라 흐르는 전류의 불균일한 분포에 의한 저항의 증가가 방지되는 장점이 있다.
- <87> 그리고, 상기한 구조를 가진 사행 안테나(120)에 있어서, 원형 코일(122)의 반경, 사행 코일(124)의 외측 반경과 내측 반경의 차이 및 지그재그 형태의 반복 주기 등의 최적화 과정을 통해 반응챔버(110) 내에 형성되는 자기장의 분포를 조절할 수 있다. 자기장의 분포는 생성되는 플라즈마의 균일도에 직접적으로 영향을 미치게 되므로, 자기장의

분포의 조절을 통해 플라즈마의 균일도를 향상시킬 수 있게 된다. 이에 대해서는 뒤에 서 다시 설명하기로 한다.

<88> 한편, 상기 원형 코일(122)의 일단은 접지되며, 사행 코일(124)의 일단은 상기 RF 전원(132)에 연결된다. 한편, 상기 원형 코일(122)의 일단에 RF 전원(132)이 연결되고, 사행 코일(124)의 일단이 접지될 수도 있다. 그리고, 원형 코일(122)의 타단과 사행 코일(124)의 타단은 연결코일(128)에 의해 연결된다. 상기 연결코일(128)은 원형 코일(122)과 사행 코일(124)이 놓여 있는 평면보다 수직방향으로 충분히 높은 위치에 배치될 수 있다. 이 경우에는, 연결코일(128)이 플라즈마 생성에 미치는 영향은 무시할 수 있다.

<89> 그리고, 상기 원형 코일(122)과 사행 코일(124) 각각은 단면적이 일정하게 정해진 경우에 폭이 높이에 비해 작은 직사각형 단면 형상을 가지는 것이 바람직하다. 이와 같이 폭이 좁은 단면을 가진 코일(122, 124)에 의하면, 안테나(120)의 인덕턴스가 감소되는 장점이 있다. 이를 도 8을 참조하며 상세하게 설명한다.

<90> 도 8은 코일의 단면 형상에 따른 안테나 인덕턴스(L)의 변화를 보여주는 그래프이다. 도 8에 도시된 그래프는 반경이 각각 7cm, 14cm 및 21cm인 세 개의 원형 코일로 이루어진 안테나에 있어서, 각 코일의 단면의 폭과 높이를 변화시켜 가며 안테나의 인덕턴스를 계산한 결과를 나타낸 것이다. 이 때, 전류는 각 코일의 표면을 따라 균일하게 흐른다고 가정하였다.

<91> 도 8의 그래프를 보면, 코일 단면의 폭이 증가하거나 코일 단면의 높이가 높아져 코일의 단면적이 증가할수록 안테나의 인덕턴스는 낮아진다는 것을 알 수 있다. 한편, 코일의 단면적을 일정하게 고정시킨 경우에는, 코일의 단면 폭이 좁고 높이가 높은 경우

의 안테나 인덕턴스가 코일의 단면 폭이 넓고 높이가 낮은 경우의 안테나 인덕턴스보다 낮다는 것을 알 수 있다. 예컨대, 코일의 단면적은 36mm^2 로 동일하지만, 폭이 1mm 이고 높이가 36mm 인 단면을 가진 코일의 인덕턴스(L_1)가 폭과 높이가 각각 6mm 인 단면을 가진 코일의 인덕턴스(L_2)에 비해 낮게 나타난다.

<92> 다시 도 7을 참조하면, 상기 원형 코일(122)과 사행 코일(124)은 서로 반대방향으로 감겨져 있다. 따라서, 원형 코일(122)과 사행 코일(124)에 흐르는 전류의 방향이 반대가 되어 안테나(120)의 인덕턴스가 보다 낮아지는 장점이 있다. 이를 도 9를 참조하며 상세하게 설명한다. 그러나, 필요에 따라 상기 원형 코일(122)과 사행 코일(124)은 같은 방향으로 감길 수도 있다.

<93> 도 9는 코일의 수와 그 단면 형상 및 각 코일에 흐르는 전류의 방향에 따른 안테나 인덕턴스(L)의 변화를 보여주는 그래프이다. 도 9에서, ①의 그래프는 반경이 각각 5.25cm , 10.5cm , 15.75cm 및 21cm 인 네 개의 원형 코일로 이루어진 안테나에서 각 코일에 흐르는 전류의 방향이 같은 경우에 인덕턴스를 계산한 결과를 나타낸 것이고, ②의 그래프는 반경이 각각 7cm , 14cm 및 21cm 인 세 개의 원형 코일로 이루어진 안테나에서 각 코일에 흐르는 전류의 방향이 같은 경우에 인덕턴스를 계산한 결과를 나타낸 것이다. 그리고, ③의 그래프는 상기한 네 개의 원형 코일로 이루어진 안테나에서 서로 이웃한 코일에 흐르는 전류의 방향이 반대인 경우에 인덕턴스를 계산한 결과를 나타낸 것이고, ④의 그래프는 상기한 세 개의 원형 코일로 이루어진 안테나에서 서로 이웃한 코일에 흐르는 전류의 방향이 반대인 경우에 인덕턴스를 계산한 결과를 나타낸 것이다.

- <94> 도 9의 그래프를 보면, 안테나를 구성하는 코일의 수가 적은 경우에, 그리고 이웃한 코일에 흐르는 전류의 방향이 반대인 경우에 안테나 인덕턴스가 낮다는 것을 알 수 있다. 특히, 코일의 수에 따른 안테나 인덕턴스의 증감보다 전류의 방향에 따른 안테나 인덕턴스의 증감이 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. 따라서, 코일의 수가 늘어나더라도 이웃한 코일에 흐르는 전류의 방향을 반대로 하게 되면 안테나 인덕턴스를 상당히 감소시킬 수 있게 된다.
- <95> 상기한 바와 같이, 본 발명의 제1 실시예에 의하면, 코일의 단면 형상과 코일에 흐르는 전류의 방향을 조절함으로써 안테나 인덕턴스를 효율적으로 감소시킬 수 있으며, 이에 따라 안테나에 높은 주파수의 RF 파워어를 인가할 수 있다.
- <96> 도 10은 본 발명의 제2 실시예에 따른 유도결합 플라즈마 발생장치에 구비된 사행 코일 안테나를 도시한 평면도이다.
- <97> 도 10에 도시된 안테나(220)는, 그 중심부위에 배치되는 제1 원형 코일(222)과, 상기 제1 원형 코일(222)의 바깥쪽에 배치되는 사행 코일(224)과, 상기 사행 코일(224)의 바깥쪽에 배치되는 제2 원형 코일(226)로 이루어진다. 즉, 이 안테나(220)는 도 7에 도시된 안테나(120)의 코일 배치에 부가하여 최외곽에 또 하나의 원형 코일(226)이 배치된 구조를 가진다. 따라서, 상기 사행 코일(224)의 형상과 작용 및 그에 따른 효과는 전술한 제1 실시예에서와 동일하므로 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 제2 원형 코일(226)은 사행 코일(224)의 외측 부분과 인접하도록 배치된다. 예컨대, 제2 원형 코일(226)과 사행 코일(224)의 외측 부분 사이의 간격은 대략 1cm 정도일 수 있다. 이와 같은 안테나(220)에 있어서는, 최외곽의 제2 원형 코일(226)로 인해 안테나(220)의 가장자리 부위에서 생성되는 플라즈마의 밀도가 전술한 제1 실시예에서 보다 높아지는 장점이 있으며,

자기장의 피크를 반경방향 및 원주방향으로 퍼지게 할 수 있다. 이에 대해서도 뒤에서 다시 설명하기로 한다.

<98> 한편, 상기 제1 원형 코일(222)의 일단은 접지되며, 제2 원형 코일(226)의 일단은 RF 전원(232)에 연결된다. 그리고, 제1 원형 코일(222)의 타단과 사행 코일(224)의 일단 및 사행 코일(224)의 타단과 제2 원형 코일(226)의 타단은 각각 연결코일(228a, 228b)에 의해 연결된다. 상기 연결코일(228a, 228b)도 플라즈마 생성에 미치는 영향을 최소화하기 위해, 제1 및 제2 원형 코일(222, 226)과 사행 코일(224)이 놓여진 평면으로부터 충분히 높은 위치에 배치된다.

<99> 그리고, 상기 코일들(222, 224, 226) 각각은 제1 실시예에서와 같이 폭이 높이에 비해 작은 직사각형 단면 형상을 가질 수 있으며, 필요에 따라 원형 단면 형상을 가질 수도 있다. 또한, 서로 이웃한 코일은 서로 반대방향을 감겨져 이를 통해 흐르는 전류의 방향이 반대가 된다. 이와 같은 구조를 가진 안테나(220)는 인덕턴스가 감소되는 장점이 있음도 전술한 바와 같다.

<100> 도 11은 본 발명의 제3 실시예에 따른 유도결합 플라즈마 발생장치에 구비된 사행 코일 안테나를 도시한 평면도이다.

<101> 도 11에 도시된 안테나(320)는, 그 중심부위에 배치되는 원형 코일(322)과, 상기 원형 코일(322)의 바깥쪽에 배치되는 제1 사행 코일(324)과, 상기 제1 사행 코일(324)의 바깥쪽에 배치되는 제2 사행 코일(326)로 이루어진다. 즉, 이 안테나(320)는 도 7에 도시된 안테나(120)의 코일 배치에 부가하여 최외곽에 또 하

나의 사행 코일(326)이 배치된 구조를 가진다. 다시 설명하면, 이 안테나(320)는 도 10에 도시된 안테나(220)의 최외곽의 제2 원형 코일(226)이 제2 사행 코일(326)로 대체된 구조를 가진다. 상기 제1 사행 코일(324)은 도 7에 도시된 안테나(120)의 사행 코일(124)과 동일하다. 상기 제2 사행 코일(326)도 원주방향을 따라 지그재그 형태로 꾸불꾸불하게 감겨지며, 지그재그 형태는 원주방향을 따라 등간격으로 다수회 반복된다. 제2 사행 코일(326)의 지그재그 형태의 반복 회수는 제1 사행 코일(324)과 동일할 수 있다. 그리고, 제2 사행 코일(326)의 내측 반경은 제1 사행 코일(324)의 외측 반경보다 작을 수 있다. 즉, 제2 사행 코일(326)의 내측 부분이 제1 사행 코일(324)의 외측 부분들 사이로 들어오도록 배치될 수 있다.

<102> 이러한 구조를 가진 안테나(320)에 있어서는, 최외곽의 제2 사행 코일(326)을 이용하여 반응챔버의 가장자리부위에 형성되는 자기장 세기의 분포를 용이하게 조절할 수 있다. 즉, 최외곽의 제2 사행 코일(326)의 지그재그 형태의 적절한 배치를 통해 최적의 플라즈마 균일도를 조절할 수 있게 된다.

<103> 도 13에서 보인 바와 같이, 최외곽의 사행 코일을 적절히 배치할 경우에는, 도 12g의 3턴 코일 안테나처럼 최외곽의 사행 코일의 부가로 인한 코일 턴수의 증가에도 불구하고, 도 12e의 2턴 코일 안테나처럼 최외곽의 사행 코일이 없는 경우보다 안테나의 인덕턴스는 더욱 줄어들게 된다.

<104> 다시 도 11을 참조하면, 상기 원형 코일(322)의 일단은 접지되며, 제2 사행 코일(326)의 일단은 RF 전원(332)에 연결된다. 그리고, 원형 코일(322)과 제1 및 제2 사행 코일(324, 326) 사이의 연결과, 연결코일(328a, 328b)의 배치 형태도 전

술한 실시예에서와 동일하다. 또한, 상기 코일들(322, 324, 326) 각각의 단면 형상과 감긴 방향 및 전류의 방향도 전술한 실시예에서와 동일하며, 이에 따른 효과도 전술한 실시예에서와 동일하다.

<105> 이하에서는, 도 12a 내지 도 12g 및 도 13을 참조하며 사행 코일 안테나의 여러가지 예들과 그 각각의 안테나에서 생성되는 자기장의 반경방향 성분의 분포 및 각각의 안테나의 인덕턴스에 대해 설명하기로 한다.

<106> 도 12a 내지 도 12g에서 왼쪽은 사행 코일 안테나의 구조와 이 안테나에 의해 생성되는 자기장의 반경방향 성분(B_r)의 분포를 보여주는 도면이며, 오른쪽은 안테나의 중심으로부터의 거리에 따른 자기장의 반경방향 성분(B_r)의 세기를 나타낸 그래프이다. 오른쪽 그래프는, 안테나의 중심을 지나는 임의의 세 개의 반경방향 선을 따라 안테나로부터 아래쪽으로 5cm 떨어진 지점에 형성된 자기장의 반경방향 성분(B_r)의 분포를 전자기장 해석 소프트웨어인 벡터 필드(Vector Fields)를 사용해서 시뮬레이션한 결과를 나타낸 것이다. 이 때 안테나를 이루는 각 코일에 흐르는 전류는 코일의 단면 전체에 걸쳐 균일하게 분포되어 흐른다고 가정하였다.

<107> 그리고, 도 13은 도 4a 및 도 4b에 도시된 원형 코일 안테나와 도 12a 내지 도 12g에 도시된 사행 코일 안테나의 인덕턴스(L)를 계산한 결과를 나타낸 그래프이다.

<108> 도 12a에 도시된 안테나는, 그 중심부위에 배치되며 반경이 7cm인 원형 코일과, 상기 원형 코일의 바깥쪽에 배치되며 평균 반경이 각각 14cm와 21cm인 두 개의 사행 코일로 이루어진다. 평균 반경이 14cm인 사행 코일은 원주방향을 따라 등간격으로 4회 반복하여 지그재그 형태로 꾸불꾸불하게 감겨져 외측 반경과 내측 반경의 차이가 2cm가 되도록 형성된다. 평균 반경이 21cm인 사행 코일은 원주방향을 따라 등간격으로 12회 반복하

여 지그재그 형태로 꾸불꾸불하게 감겨져 외측 반경과 내측 반경의 차이가 6cm가 되도록 형성된다. 그리고, 각 코일은 폭과 높이가 각각 6mm인 정사각형 단면을 가지고 있으며, 서로 이웃한 코일에 흐르는 전류의 방향은 반대이다.

<109> 도 12a에 도시된 안테나는, 그 중심부위의 코일은 원형 코일로서 외측 반경과 내측 반경의 차이가 없으며, 외곽으로 갈수록 코일의 외측 반경과 내측 반경의 차이가 커지고 그 지그재그 형태의 반복 주기는 짧아지는 구조를 가지고 있다. 이와 같은 안테나의 인덕턴스는 도 13의 그래프에 나타낸 바와 같이 비교적 낮은 값을 보인다. 그리고, 도 12a 오른쪽의 자기장 세기의 분포를 나타낸 그래프에 있어서, 최외곽의 피크는 도 4b에 도시된 안테나에 비해 그 폭이 넓어지고 좀 더 외곽으로 이동하게 되는 장점이 있다. 그러나, 오히려 피크의 높이는 낮아지게 되며, 더욱이 중심부위 가까이에 생긴 피크의 높이에는 별다른 변화가 없어 플라즈마 균일도의 향상을 기대하기는 어렵다.

<110> 도 12b에 도시된 안테나는, 중심부위로부터 첫째와 세번째 배치되며 그 반경이 각각 7cm와 16.1cm인 두 개의 원형 코일과, 두번째와 네번째 배치되며 그 평균 반경이 각각 10.3cm와 21cm인 두 개의 사행 코일로 이루어진다. 평균 반경이 10.3cm인 사행 코일은 원주방향을 따라 등간격으로 8회 반복하여 지그재그 형태로 꾸불꾸불하게 감겨져 외측 반경과 내측 반경의 차이는 5.4cm가 되도록 형성된다. 평균 반경이 21cm인 사행 코일은 원주방향을 따라 등간격으로 8회 반복하여 지그재그 형태로 꾸불꾸불하게 감겨져 외측 반경과 내측 반경의 차이는 8cm가 되도록 형성된다. 그리고, 각 코일은 폭과 높이가 각각 6mm인 정사각형 단면을 가지고 있으며, 서로 이웃한 코일에 흐르는 전류의 방향은 반대이다.

- <111> 도 12b에 도시된 안테나에 있어서, 코일의 수가 증가했음에도 불구하고 안테나의 인덕턴스는 도 13의 그래프에 나타낸 바와 같이 여전히 낮은 값을 유지하고 있다. 또한, 최외곽의 자기장 피크의 폭이 넓어지고, 중심부위 가까이에 생긴 피크의 높이가 상당히 낮아지게 되는 장점이 있다. 따라서, 이러한 구조의 안테나에서는 플라즈마의 균일도 향상을 예측할 수 있다.
- <112> 도 12c에 도시된 안테나는, 반경이 16.1cm인 원형 코일과, 이 원형 코일의 바깥쪽에 배치되며 평균 반경이 21cm인 사행 코일로 이루어진다. 사행 코일은 원주방향을 따라 등간격으로 8회 반복하여 지그재그 형태로 꾸불꾸불하게 감겨져 외측 반경과 내측 반경의 차이는 8cm가 되도록 형성된다. 그리고, 각 코일은 폭과 높이가 각각 6mm인 정사각형 단면을 가지고 있으며, 두 개의 코일에 흐르는 전류의 방향은 반대이다.
- <113> 도 12c에 도시된 안테나는 도 12b에 도시된 안테나 구조의 장점을 채택하면서 구조를 단순화시킨 안테나이다. 이 안테나의 인덕턴스는 도 13의 그래프에 나타낸 바와 같이 상당히 낮은 값을 가지게 된다. 또한, 안테나의 중심부위로부터 멀리 떨어져 두 개의 자기장 세기의 피크가 형성된다. 따라서, 이와 같은 구조의 안테나에서는 플라즈마 균일도의 상당한 향상을 예측할 수 있다.
- <114> 도 12d에 도시된 안테나는, 중심부위에 배치되며 반경이 3cm인 원형 코일과, 원형 코일의 바깥쪽에 배치되며 평균 반경이 14.3cm인 사행 코일로 이루어진다. 사행 코일은 원주방향을 따라 등간격으로 8회 반복하여 지그재그 형태로 꾸불꾸불하게 감겨져 외측 반경과 내측 반경의 차이는 22cm가 되도록 형성된다. 그리고, 각 코일은 폭과 높이가 각각 6mm인 정사각형 단면을 가지고 있으며, 두 개의 코일에 흐르는 전류의 방향은 반대이다.

<115> 도 12d에 도시된 안테나는 도 12c에 도시된 안테나와 같은 구조를 가지지만, 중심 부위에 배치되는 원형 코일은 그 반경이 보다 작게 형성되어 있다. 이와 같은 구조의 안테나에 있어서는, 도 13의 그래프에 나타낸 바와 같이 도 12c에 도시된 안테나에 비해 안테나 인덕턴스가 다소 증가하지만 도 4a에 도시된 종래의 단순한 원형 코일 안테나에 비해서는 여전히 낮은 값을 보이고 있다. 또한, 도 12d에 도시된 안테나는 원형 코일과 사행 코일 사이에 서로 인접하여 마주보는 부분의 면적이 작아지게 되므로, 안테나의 커패시턴스가 줄어들게 되고, 이에 따라 용량결합(capacitive coupling)에 의한 영향도 줄어들 것으로 예측된다. 그리고, 자기장 세기의 분포가 보여주는 것처럼, 중심부위의 원형 코일의 반경과 사행 코일의 외측 반경과 내측 반경의 차이 및 지그재그 형태의 반복 주기의 최적화 과정을 통해 단순한 원형 코일 안테나와 나선형 코일 안테나에 비해 플라즈마 균일도를 많이 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

<116> 도 12e에 도시된 안테나는 전술한 도 6과 도 7에 도시된 본 발명의 바람직한 제1 실시예에 채택된 기본적인 구조를 가진 사행 안테나이다. 이 안테나는 도 12d의 안테나와 같은 코일 배치를 가지고 있으며, 두 개의 코일에 흐르는 전류의 방향이 반대인 점도 도 12d의 안테나와 같다. 다만, 직사각형 단면을 가진 코일이 미치는 효과를 관찰하기 위해, 도 12e의 안테나는 각 코일이 폭은 1mm이고 높이는 36mm인 직사각형 단면을 가진다는 점이 도 12d의 안테나와 다르다.

<117> 이와 같은 구조의 안테나에 있어서는, 도 13의 그래프에 나타낸 바와 같이 안테나 인덕턴스가 도 12d에 도시된 안테나에 비해 상당히 낮아지게 되며, 도 12d에 도시된 안테나에서와 유사하지만 가장자리부위로 갈수록 좀 더 완만하게 증가하는 자기장 세기의 분포를 보인다. 따라서, 도 12e에 도시된 안테나는 전술한 도 12d의 안테나가 가진 장점

과 함께, 안테나 인덕턴스를 낮출 수 있어 높은 주파수를 사용한 유도결합 방전이 가능한 장점이 있다.

<118> 도 12f에 도시된 안테나는 전술한 도 10에 도시된 본 발명의 바람직한 제2 실시예에 채택된 안테나이다. 이 안테나는 도 12e에 도시된 안테나의 기본적인 코일 배치에 부가하여 최외곽에 원형 코일이 더 배치된 형태를 가진다. 그리고, 최외곽의 원형 코일과 그 내측의 사행 코일 사이의 간격은 1cm이고, 각 코일은 전술한 바와 같이 직사각형 단면을 가지고 있으며, 서로 이웃한 코일에 흐르는 전류의 방향은 반대이다.

<119> 이와 같은 구조의 안테나에 있어서는, 도 13에 도시된 바와 같이 낮은 안테나 인덕턴스를 유지할 수 있으며, 최외곽에 배치된 원형 코일로 인해 중심부위의 원형 코일과 사행 코일에 의해 생겨난 자기장 세기의 피크가 도 12e에 도시된 자기장 세기의 피크에 비해 조금 더 외곽으로 이동된다. 따라서, 안테나의 가장자리 부위에서 생성되는 플라즈마의 밀도가 보다 높아질 수 있다.

<120> 도 12g에 도시된 안테나는 전술한 도 11에 도시된 본 발명의 바람직한 제3 실시예에 채택된 안테나이다. 이 안테나는 도 12e에 도시된 안테나의 코일 배치에 부가하여 최외곽에 사행 코일이 더 배치된 형태를 가진다. 즉, 이 안테나는 도 12f에 도시된 안테나의 최외곽 원형 코일이 사행 코일로 대체된 형태를 가진다. 그리고, 이 안테나의 각 코일도 전술한 바와 같이 직사각형 단면을 가지고 있으며, 서로 이웃한 코일에 흐르는 전류의 방향은 반대이다.

<121> 이러한 구조의 안테나에 있어서는, 도 13에 도시된 바와 같이 낮은 안테나 인덕턴스를 유지할 수 있으며, 최외곽의 사행 코일을 이용하여 최외곽의 자기장 세기의 분포를

반경방향과 원주방향으로 조절할 수 있다. 따라서, 최외곽 사행 코일의 지그재그 형태의 적절한 배치를 통해 최적의 플라즈마 균일도를 조절할 수 있음을 예측할 수 있다.

<122> 한편, 유도결합 플라즈마 방전의 경우, 안테나에 높은 전압이 인가됨으로써 발생하는 용량결합(capacitive coupling)은 높은 플라즈마 포텐셜을 유발시키고, 플라즈마의 발생 효율 및 균일도를 감소시키게 된다. 따라서, 안테나 디자인에 있어서는 반드시 용량결합에 의한 영향이 최소화되도록 고려하여야 한다. 또한, 플라즈마와의 유도결합능력을 향상시켜 낮은 압력에서의 방전이 가능하고, 높은 밀도와 낮은 전자온도를 가진 플라즈마를 얻기 위해 주파수를 높이는 경우에, 효율적인 임피던스 매칭(impedance matching)을 위해 낮은 인덕턴스를 가진 안테나가 필요하게 된다. 전술한 바와 같이, 본 발명에 따른 안테나는 코일의 전체 길이에 비해 둘러싸인 면적이 작은 사행 코일을 구비하며, 또한 서로 이웃한 코일에 흐르는 전류의 방향이 반대이고, 각 코일이 높이가 높은 단면을 가짐으로 인해 상당히 낮은 인덕턴스를 가지게 된다. 이와 같이, 낮은 인덕턴스를 가진 안테나의 경우에는, 높은 RF 주파수를 사용하더라도 임피던스(impedance)를 충분히 낮게 유지할 수 있어, 안테나의 양단에 걸리는 전위차가 낮아져 용량결합에 의한 영향을 감소시킬 수 있고, 이온이 유전체 윈도우에 충돌하여 발생하는 파티클에 의한 오염 현상을 방지할 수 있다. 더욱이, 중심부위에 배치된 원형 코일의 반경을 줄이게 되면 코일들 사이에 서로 인접하여 마주보는 부분의 면적이 작아지게 되므로, 안테나의 커패시턴스가 줄어들게 되고, 코일의 폭을 줄일 경우 유전체 윈도우와 마주보는 면적이 줄어들어 안테나와 플라즈마 사이의 용량결합에 의한 영향을 최소화할 수 있게 된다.

<123> 도 14는 본 발명의 제4 실시예에 따른 유도결합 플라즈마 발생장치에 구비된 사행 코일 안테나와 영구자석의 배치를 도시한 평면도이다.

- <124> 도 14를 참조하면, 반응챔버(410)의 상부에는 사행 코일 안테나(420)가 설치되며, 반응챔버(410)의 외부에는 원주방향을 따라 다수의 영구자석(440)이 배치된다. 다수의 영구자석(440)은 원주방향을 따라 N극과 S극이 교차되도록 배치된다.
- <125> 상기 사행 코일 안테나(420)는 중심부위에 배치된 원형 코일(422)과, 원형 코일(422)의 바깥쪽에 배치된 제1 사행 코일(424) 및 제2 사행 코일(426)로 이루어진다. 도시된 사행 코일 안테나(420)는 전술한 제3 실시예에서의 사행 코일 안테나와 동일한 구조이므로 이에 대한 더 이상의 설명은 생략한다. 한편, 상기 사행 코일 안테나(420)는 전술한 제1 실시예 또는 제2 실시예에서의 사행 코일 안테나로 대체될 수 있다.
- <126> 상기 다수의 영구자석(440)은 안테나(420)에 의해 형성되는 자기장의 세기가 상대적으로 약한 부위에 배치되는 것이 바람직하다. 도시된 안테나(420)의 경우에는, 도 12g에 도시된 바와 같이 두 개의 사행 코일(424, 426)의 외측 부분이 인접한 부위에서의 자기장의 세기가 상대적으로 약하므로, 영구자석(440)은 두 개의 사행 코일(424, 426)의 외측 부분과 마주보는 위치에 배치된다.
- <127> 한편, 안테나(420)의 구조가 바뀌게 되면, 자기장의 세기 분포도 달라지게 되므로 영구자석(440)의 위치도 변경되는 것이 바람직하다. 이를 위해, 영구자석(440)은 그 위치를 조절할 수 있도록 회전가능하게 설치되는 것이 바람직하다.
- <128> 상기한 바와 같이, 본 발명의 제4 실시예에서는 사행 코일 안테나(420)에서 생겨나는 국소적인 자극(magnetic pole)과 상호 보완적인 효과를 낼 수 있도록 다수의 영구자석(440)을 반응챔버(410) 외부에 배치한다. 이와 같이 배치된 영구자석(440)은 그 자기장에 의해 플라즈마를 감금시키는 효과가 있는데, 이를 멀티-폴 감금(multi-pole confinement) 효과라고 한다. 즉, 영구자석(440)의 N극과 S극을 반응챔버(410) 주위를

따라 교차되도록 배치하면, 반응챔버(410) 가장자리부위에 마그네틱 미러(magnetic mirror) 효과가 유도되고, 이에 따라 하전 입자들의 벽체 손실(wall loss)이 줄어들어 반응챔버(410) 가장자리부위의 플라즈마 밀도가 증가하게 되며, 플라즈마의 균일도도 향상될 수 있다. 한편, 영구자석(440)에 의한 자기장은 반응챔버(410)의 가장자리부위에만 집중되어 반응챔버(410) 내부의 대부분의 플라즈마는 영구자석(440)에 의한 자기장의 영향을 받지 않게 된다. 그리고, 사행 코일 안테나(420)의 경우에는 원주방향을 따라 자기장의 세기가 상대적으로 약한 부분이 생기는데, 이 부분에 영구자석(440)을 배치함으로써 멀티-폴 감금 효과를 보다 효율적으로 이용할 수 있다.

<129> 이와 같이 본 발명의 제4 실시예에 의하면, 멀티-폴 감금 효과를 이용하여 전자들의 벽체 손실을 줄여 플라즈마의 밀도를 향상시킬 수 있음과 동시에 반응챔버의 가장자리 부위에서 전자밀도를 증가시켜 높은 플라즈마 균일도를 확보할 수 있다. 또한, 사행 코일 안테나의 구조에 따라 영구자석의 위치를 조절할 수 있도록 제작함으로써, 공정조건의 변화에 따른 플라즈마 특성의 최적화가 가능하다.

<130> 도 15는 본 발명의 제5 실시예에 따른 유도결합 플라즈마 발생장치에 구비된 사행 코일 안테나와 매칭 네트워크 및 커패시터의 배치를 도시한 평면도이다.

<131> 도 15를 참조하면, RF 전원(532)과 사행 코일 안테나(520)를 연결하는 매칭 네트워크(matching network, 530)와 사행 코일 안테나(520) 사이에는 사행 코일 안테나(520)와 병렬로 커패시터(534)가 설치된다.

<132> 상기 사행 코일 안테나(520)는 중심부위에 배치된 원형 코일(522)과, 원형 코일(522)의 바깥쪽에 배치된 제1 사행 코일(524) 및 제2 사행 코일(526)로 이루어진다. 도시된 사행 코일 안테나(520)는 전술한 제3 실시예에서의 사행 코일 안테나와 동일한 구

조이므로 이에 대한 설명은 생략한다. 한편, 상기 사행 코일 안테나(520)는 전술한 제1 실시예 또는 제2 실시예에서의 사행 코일 안테나로 대체될 수 있다. 또한, 상기 사행 코일 안테나(520)는 종래의 원형 코일 안테나 또는 나선형 코일 안테나로 대체될 수도 있다. 즉, 본 발명의 제5 실시예는 어떠한 구조를 가진 안테나에도 적용될 수 있다.

<133> 그리고, 상기 사행 코일 안테나(520)를 이루는 코일들(522, 524, 526)은 도시된 바와 같이 RF 전원(532)에 직렬로 연결될 수 있다. 한편, 도시되지는 않았지만 상기 코일들(522, 524, 526) 중 일부의 코일 또는 모든 코일은 RF 전원(532)에 병렬로 연결될 수도 있다. 즉, 상기 커패시터(534)는 안테나(520)와 병렬로 배치되지만, 안테나(520)를 이루는 코일들(522, 524, 526) 자체는 병렬 또는 직렬로 연결된다. 이와 같이, 필요에 따라 코일들(522, 524, 526)을 병렬 또는 직렬로 연결함으로써 안테나 인덕턴스를 적절하게 조절할 수 있다.

<134> 상기한 바와 같이, 본 발명의 제5 실시예에서는 사행 코일 안테나(520)와 매칭 네트워크(530) 사이에 병렬로 커패시터(534)를 연결함으로써, LC 공명 현상을 이용하여 초기 플라즈마의 방전을 용이하게 하고, 유도결합 플라즈마를 이용한 공정의 안정성을 확보할 수 있다.

<135> 전술한 바와 같이 ICP 방전의 경우, 초기의 높은 안테나 전압에 의한 용량결합을 통해 초기방전과정을 거친 뒤, 안테나 코일에 흐르는 교류전류로부터 유도되는 유도 전기장에 의해 유도결합 방전과정에 이르게 된다. 이와 같은 용량결합이 일어나기 위해 필요한 임계방전전압(threshold breakdown voltage)은 공정 압력이나 사용하는 가스에 영향을 받게 된다. 그러나, 이웃한 코일이 서로 반대 방향으로 간겨진 안테나와 같이 안테나의 인덕턴스가 낮은 경우에는, 매우 높은 RF 파워어를

사용하지 않으면 안테나의 전위차가 충분히 크지 않아 큰 전위차를 필요로 하는 용량결합을 통한 초기 플라즈마 방전이 어려워지게 된다. 그러나, 매칭 네트워크의 적절한 프리세팅(pre-setting)을 통한 LC 공명 현상을 이용할 경우, 낮은 인덕턴스를 가진 안테나의 경우에도 큰 전위차를 유도할 수 있어 용량결합을 통한 초기방전이 가능하게 된다.

<136> 이하에서는 상기한 방법을 도 16과 도 17a 내지 도 17d를 통해 설명하기로 한다. 도 16에는 ICP 안테나에 연결된 대표적인 L-type 매칭 네트워크가 도시되어 있으며, 도 17a 내지 도 17d에는 도 15에 도시된 제5 실시예에서 커패시터에 의한 리액턴스의 변화에 따른 LC 공명 현상을 설명하기 위한 그래프들이 도시되어 있다.

<137> 도 16을 참조하면, RF 전원(532)과 안테나(520)를 연결하는 매칭 네트워크(530)는 두 개의 가변 커패시터(C_1 , C_2)를 포함하고 있다. 그리고, 매칭 네트워크(530)와 안테나(520) 사이에는 전술한 바와 같이 커패시터(534, C_3)가 병렬로 연결되어 있다. 이와 같은 등가회로(equivalent circuit)에 표시된 저항 R_1 은 매칭 네트워크(530) 내의 저항 손실(ohmic loss)을 고려하는 것이다.

<138> 도 17a는 안테나 임피던스(Z)의 공명 현상을 보여주는 그래프이고, 도 17b는 도 17a의 초기설정점 부위를 확대하여 보여주는 그래프이다. 도 17a와 도 17b에서 $\text{Re}Z$ 는 안테나 임피던스(Z)의 실수부를 나타낸다.

<139> 도 17a와 도 17b에 도시된 바와 같이, 안테나와 병렬로 연결된 커패시터(C_3)는 안테나의 입력 임피던스(Z)를 변화시키게 된다. 예를 들어, 13.56MHz의 RF 주파

수를 사용하고, 안테나(520)의 인덕턴스(L_a)를 300nH 로, 안테나(520)의 저항(R_0)을 0.1ohm 이라고 할 경우, 커패시터(C_3)의 리액턴스(X_c)가 25.65ohm($C=458\text{pF}$)에서 LC 공명 형상을 보이게 된다. 플라즈마가 발생되기 전에는 ICP 안테나의 Q-factor가 플라즈마가 발생한 후에 비해 높아서, 공명 피크의 폭(width)이 매우 좁게 나타난다. 이러한 공명점(resonance point)에서는 주어진 RF 파워에 대해 안테나의 임피던스(Z)가 매우 증가하게 되어 안테나의 전압차가 매우 커지게 되고, 안테나를 RF 전원과 매칭시키기가 매우 어려워지게 된다. 매칭 조건이 만족되지 않으면, 안테나로부터 상당한 RF 파워의 반사(reflection)가 생기게 되어 플라즈마 방전이 효율적으로 이루어질 수 없다.

<140> 이러한 문제점을 해결하기 위해, 매칭 네트워크의 초기설정점(preset point)을 정확한 공명점에서 조금 벗어난 지점으로 선택한다. 즉, 도 17a와 도 17b에 표시된 바와 같이, 커패시터(C_3)의 커패시턴스가 355pF 으로 리액턴스(X_c)가 33ohm 인 점을 선택하였다. 이러한 조건에서는, 리액턴스(X_c)가 매칭에 충분할 정도로 큰 값이며, 더욱이 매칭 네트워크에 연결된 안테나의 전기적인 특성이 인덕터(inductor)의 특성을 가지게 되어, 두 개의 가변 커패시터(C_1 , C_2)만으로 이루어진 간단한 L-type 매칭 네트워크를 이용해서 매칭 조건을 만족시킬 수 있게 된다. 도 16에 표시된 R_1 과 R_2 를 각각 0.05ohm 이라고 가정하고 길이 3m 의 50ohm 케이블을 사용할 경우 매칭을 위해 요구되는 두 개의 커패시터(C_1 , C_2) 각각의 커패시턴스는 1,000pF 과 115pF 이 됨을 계산을 통해 얻을 수 있다. 이러한 커패시턴스는 대부분의 매칭 네트워크에서 쉽게 얻을 수 있는 범위에 있는 값들이다.

<141> 만약 플라즈마 방전이 일어나기 전에 매칭 네트워크의 초기설정점이 위의 계산결과에서 얻은 조건들로 선택되어 있고, 입력 RF 파워를 500Watt를 사용할 경우, ICP 안테

나에 흐르는 전류와 전압은 커패시터(C_3)에 의한 리액턴스(X_c)의 변화에 따라 도 17c와 도 17d에 도시된 바와 같은 공명특성을 보이게 된다. 즉, 공명조건인 커패시터(C_3)의 커패시턴스가 355pF 일 경우, 안테나 전압은 약 1,600Volt로 플라즈마 초기방전을 일으키기에 충분할 만큼 증가하게 된다. 플라즈마가 발생하게 되면, 안테나 저항이 증가하게 되어 안테나의 전압과 전류가 감소하게 된다. 예를 들어, 플라즈마 발생 전에 0.1ohm인 안테나 저항(R_0)이 플라즈마 발생 후에 1.0ohm으로 증가할 경우, 플라즈마 방전 전에는 도 17c와 도 17d에 표시된 곡선 1과 같은 공명 현상을 보이던 안테나의 전기적 특성이 플라즈마 발생 후에는 곡선 2와 같은 특성을 보이게 된다. 플라즈마 발생 이후, 매칭 네트워크는 매칭 조건을 자동적으로 찾아가게 된다. 이와 같은 곡선 1에서 곡선 2로 전환하는 과정에서 안테나에 흐르게 되는 많은 전류는 용량결합성 방전특성에서 유도결합성 방전특성으로의 전환을 원활하게 해 주어 플라즈마 특성을 안정적으로 유지할 수 있도록 한다.

<142> 위에서 얻은 공명조건을 만족시키는 두 개의 커패시터(C_1 , C_2) 각각의 커패시턴스는 실험을 통해 얻을 수 있는 공명조건과는 차이를 보일 수 있다. 그러나, 공명조건을 찾기 위해 처음부터 매칭 네트워크의 초기설정점을 정확히 선택할 필요는 없다. 챔버 내에 플라즈마 방전이 일어나지 않도록 압력을 mTorr 정도로 충분히 감소시킨 뒤, 근사적으로 초기설정점을 선정하고, 매칭 네트워크를 자동 모드로 선택한 상태에서 RF 파워를 인가함으로써 플라즈마 방전이 일어나기 전의 정확한 공명조건을 찾아낼 수 있게 된다.

<143> 상기한 바와 같이 안테나와 커패시터 사이의 LC 공명 현상을 이용하게 되면, 초기 플라즈마의 생성이 쉬워지고, 높은 밀도의 플라즈마를 안정적으로 유지시킬 수 있는 장

점이 있다. 특히, 이러한 구조는 안테나와 유전체 윈도우 사이에 패러데이 쉴드(Faraday shield)를 설치할 경우에도 유용하게 응용될 수 있다. 또한, 전술한 바와 같이, 사행 코일 안테나를 구성하는 각 코일들을 병렬 또는 직렬로 연결해 줌으로써 필요에 따라 최적의 플라즈마 방전을 위해 안테나 인덕턴스를 조절할 수도 있다.

<144> 본 발명은 개시된 실시예를 참고로 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 분야에서 통상적 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위에 의해서 정해져야 할 것이다.

【발명의 효과】

<145> 이상에서 설명된 바와 같이 본 발명에 따른 유도결합 플라즈마 발생장치에 의하면 다음과 같은 효과가 있다.

<146> 첫째, 사행 코일의 외측 반경과 내측 반경의 차이 및 지그재그 형태의 반복 주기 등의 최적화 과정을 통해 반응챔버 내에 형성되는 자기장의 분포를 조절함으로써 플라즈마의 균일도를 향상시킬 수 있다. 그리고, 코일의 단면 형상과 코일에 흐르는 전류의 방향을 필요에 따라 조절함으로써 안테나 인덕턴스를 효율적으로 감소시킬 수 있으며, 이에 따라 높은 주파수를 이용한 효율적인 플라즈마 방전이 가능하게 된다. 또한, 용량결합에 의한 영향도 최소화할 수 있게 된다.

<147> 둘째, 반응챔버의 외부에 다수의 영구자석을 배치함으로써 멀티-폴 감금 효과를 이용하여 플라즈마 균일도의 향상과 반응챔버의 가장자리 부위에서 높은 플라즈마 밀도를

확보할 수 있다. 또한, 사행 코일 안테나의 구조에 따라 영구자석의 위치를 조절함으로써 플라즈마 특성의 최적화도 가능하다.

<148> 셋째, 안테나와 L-type 매칭 네트워크 사이에 병렬로 커패시터를 연결하여 LC 공명 현상을 유도함으로써, 초기 플라즈마의 방전이 용이하여 유도결합 플라즈마를 이용한 공정의 안정성을 확보할 수 있다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

내부가 진공상태로 유지되는 반응챔버;

상기 반응챔버의 상부에 설치되어 상기 반응챔버 내부로 주입된 반응가스를 이온화하여 플라즈마를 생성시키는 전기장을 유도하는 안테나; 및

상기 안테나에 연결되어 상기 안테나에 RF 파워어를 공급하는 RF 전원;을 구비하며,

상기 안테나는 서로 다른 반경을 가진 복수의 코일로 이루어지며, 상기 복수의 코일 중 적어도 하나는 원주방향을 따라 지그재그 형태로 꾸불꾸불하게 감겨진 사행 코일인 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 2】

제 1항에 있어서,

상기 안테나는 그 중심부위에 배치되는 원형 코일과, 상기 원형 코일의 바깥쪽에 배치되며 상기 원형 코일과 연결되는 사행 코일로 이루어진 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 3】

제 2항에 있어서,

상기 원형 코일과 상기 사행 코일 사이의 서로 인접하여 마주보는 부분의 면적을 줄이기 위해 상기 원형 코일의 반경은 비교적 작게 형성되는 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 4】

제 1항에 있어서,

상기 안테나는 그 중심부위에 배치되는 제1 원형 코일과, 상기 제1 원형 코일의 바깥쪽에 배치되며 상기 제1 원형 코일과 연결되는 사행 코일과, 상기 사행 코일의 바깥쪽에 배치되며 상기 사행 코일과 연결되는 제2 원형 코일로 이루어진 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 5】

제 4항에 있어서,

상기 제2 원형 코일은 상기 사행 코일의 외측 부분과 인접하게 배치되는 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 6】

제 1항에 있어서,

상기 안테나는 그 중심부위에 배치되는 원형 코일과, 상기 원형 코일의 바깥쪽에 배치되며 상기 원형 코일과 연결되는 제1 사행 코일과, 상기 제1 사행 코일의 바깥쪽에 배치되며 상기 제1 사행 코일과 연결되는 제2 사행 코일로 이루어진 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 7】

제 6항에 있어서,

상기 제1 및 제2 사행 코일의 지그재그 형태의 반복 회수는 동일한 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 8】

제 6항에 있어서,

상기 제2 사행 코일의 내측 반경은 상기 제1 사행 코일의 외측 반경보다 작은 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 9】

제 1항에 있어서,

상기 사행 코일의 지그재그 형태는 원주방향을 따라 등간격으로 다수회 반복되는 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 10】

제 9항에 있어서,

상기 사행 코일은 방사상으로 뻗어 나간 다수의 외측 부분과 중심부위쪽으로 구부러져 들어온 다수의 내측 부분을 가지는 것을 특징으로 하는 유도 결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 11】

제 10항에 있어서,

상기 사행 코일의 내측 부분은 상기 반응챔버의 중심부위 가까이에 배치되며, 상기 외측 부분은 상기 반응챔버 내의 기관의 가장자리부위에 대응하는 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 12】

제 1항에 있어서,

상기 복수의 코일들 사이의 연결은 연결코일에 의해 이루어지며, 상기 연결코일은 상기 복수의 코일들이 놓여 있는 평면보다 수직방향으로 높은 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 13】

제 1항에 있어서,

상기 복수의 코일 각각은 폭이 높이보다 작은 직사각형 단면을 가진 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 14】

제 1항에 있어서,

상기 복수의 코일 각각은 원형 단면을 가진 것을 특징을 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 15】

제 1항에 있어서,

상기 반응챔버의 외부에는 원주방향을 따라 다수의 영구자석이 배치되는 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 16】

제 15항에 있어서,

상기 다수의 영구자석은 원주방향을 따라 N극과 S극이 교차되도록 배치되는 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 17】

제 15항에 있어서,

상기 다수의 영구자석은 상기 안테나에 의해 형성되는 자기장의 세기가 상대적으로 약한 부위에 배치되는 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 18】

제 15항에 있어서,

상기 다수의 영구자석은 상기 반응 챔버의 중심축을 중심으로 회전가능하도록 설치되어 상기 안테나에 의해 형성되는 자기장의 세기 분포에 따라 위치를 조절할 수 있도록 된 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 19】

제 1항에 있어서,

상기 RF 전원과 상기 안테나의 매칭 네트워크와 상기 안테나 사이에는 상기 안테나와 병렬로 커패시터가 설치되는 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 20】

제 19항에 있어서,

상기 안테나를 이루는 상기 복수의 코일은 상기 RF 전원에 직렬로 연결되는 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 21】

제 19항에 있어서,

상기 안테나를 이루는 상기 복수의 코일 중 적어도 일부 코일은 상기 RF 전원에 병렬로 연결되는 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 22】

그 내부가 진공상태로 유지되는 반응챔버;

상기 반응챔버의 상부에 설치되어 상기 반응챔버 내부로 주입된 반응가스를 이온화하여 플라즈마를 생성시키는 전기장을 유도하는 안테나;

상기 안테나에 연결되어 상기 안테나에 RF 파워어를 공급하는 RF 전원; 및

상기 RF 전원과 상기 안테나의 매칭 네트워크와 상기 안테나 사이에 상기 안테나와 병렬로 설치되는 커패시터;를 구비하는 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【청구항 23】

제 22항에 있어서,

상기 안테나를 이루는 복수의 코일은 상기 RF 전원에 직렬로 연결되는 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

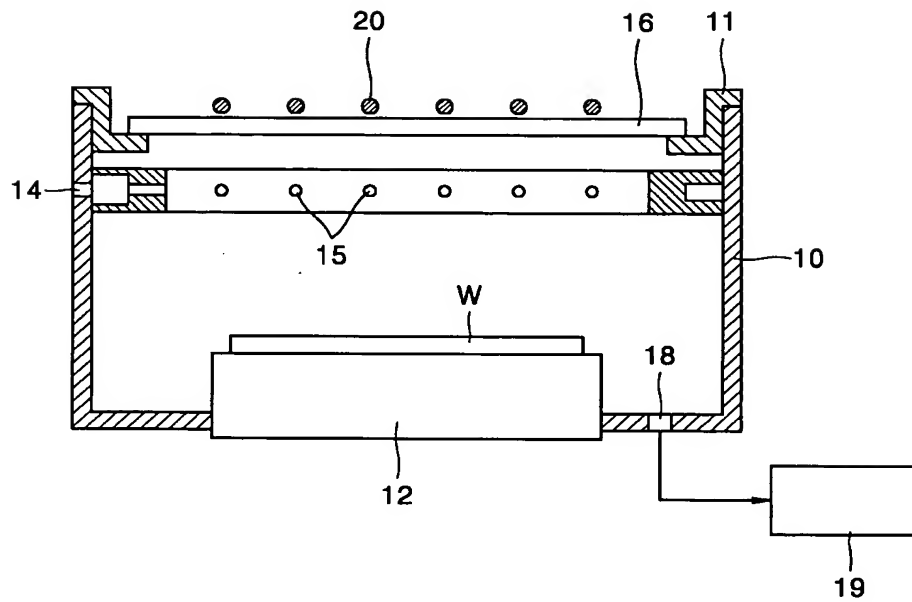
【청구항 24】

제 22항에 있어서,

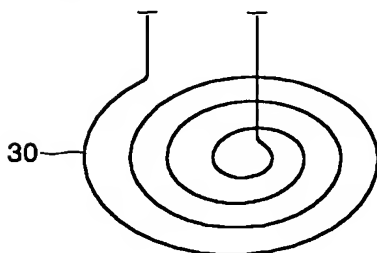
상기 안테나를 이루는 복수의 코일 중 적어도 일부 코일은 상기 RF 전원에 병렬로 연결되는 것을 특징으로 하는 유도결합 플라즈마 발생장치.

【도면】

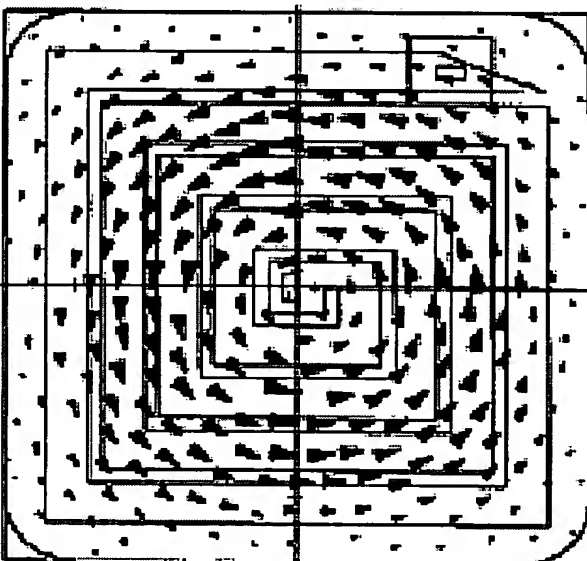
【도 1】



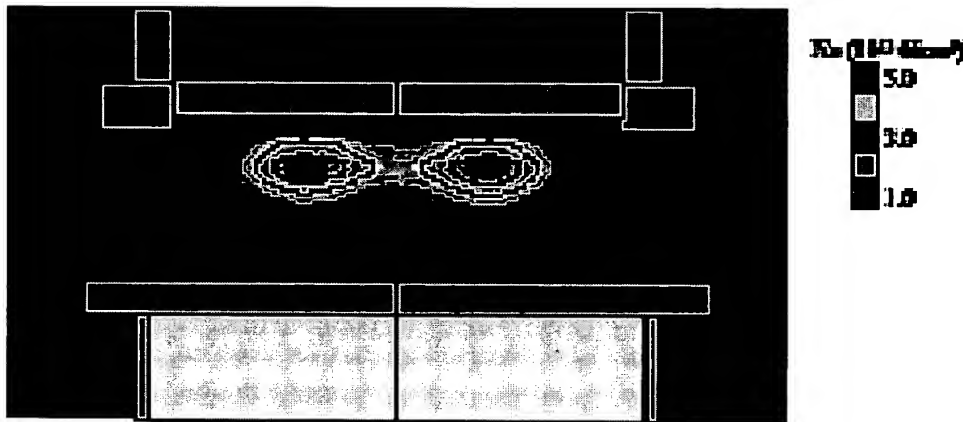
【도 2】



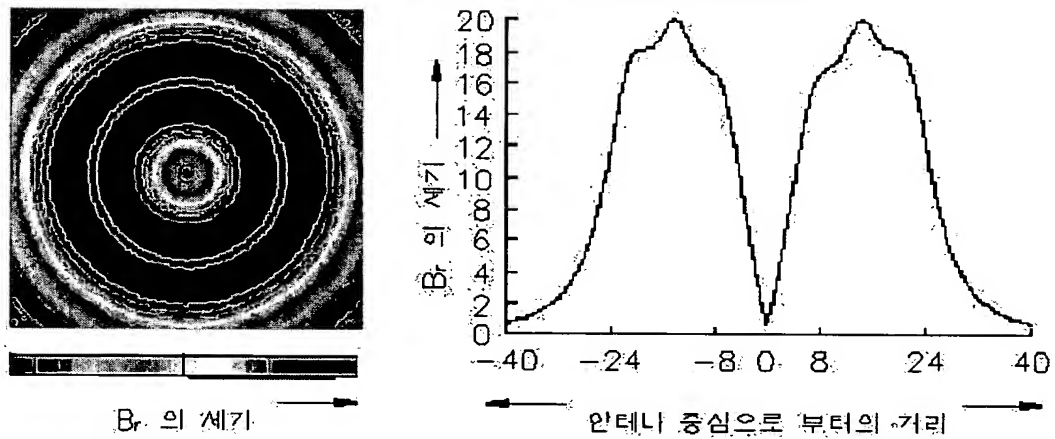
【도 3a】



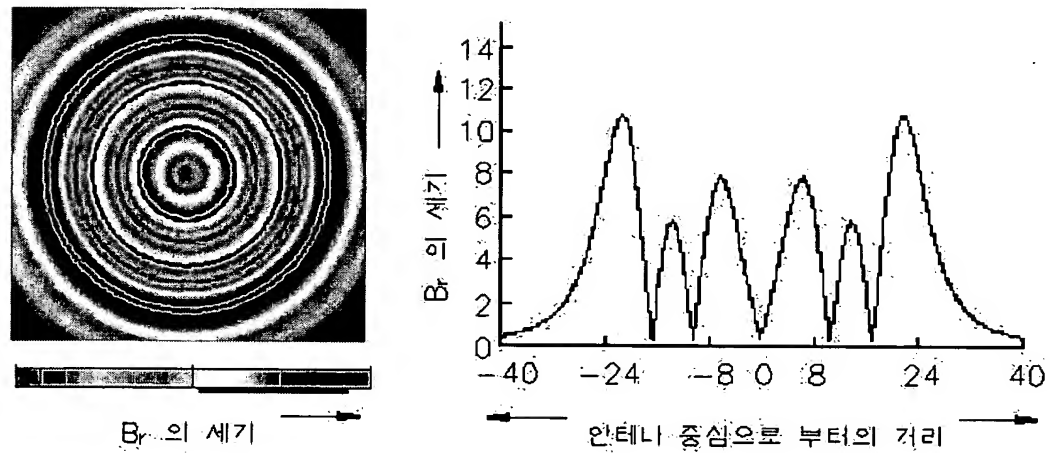
【도 3b】



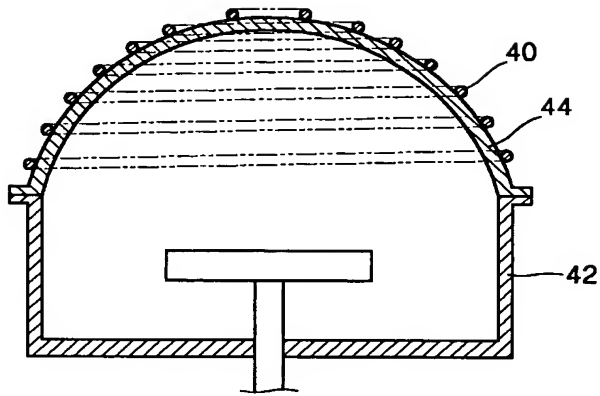
【도 4a】



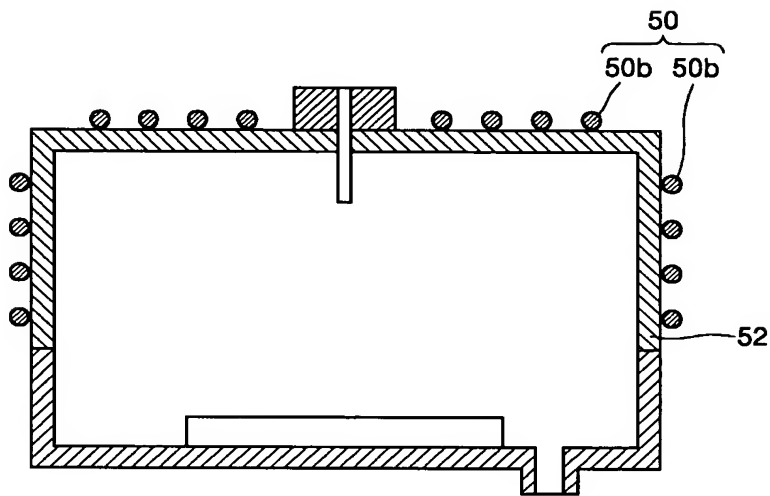
【도 4b】



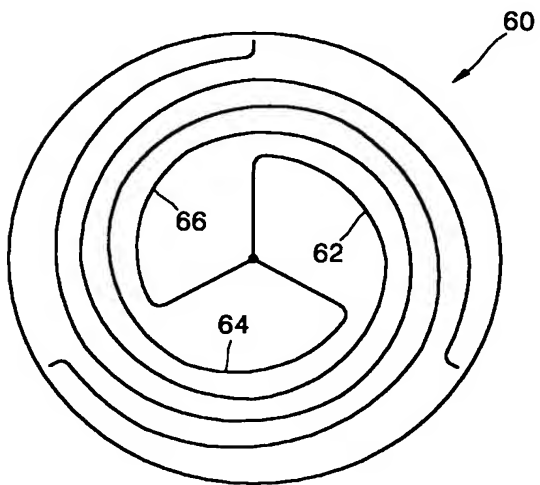
【도 5a】



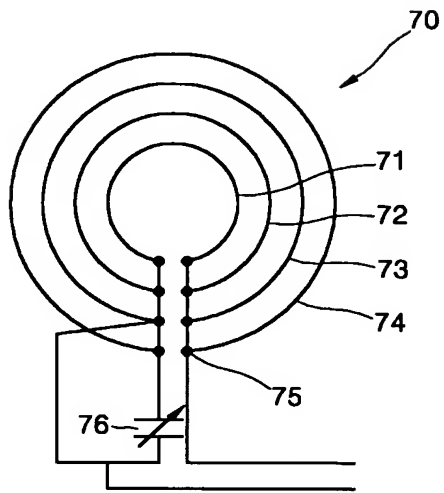
【도 5b】



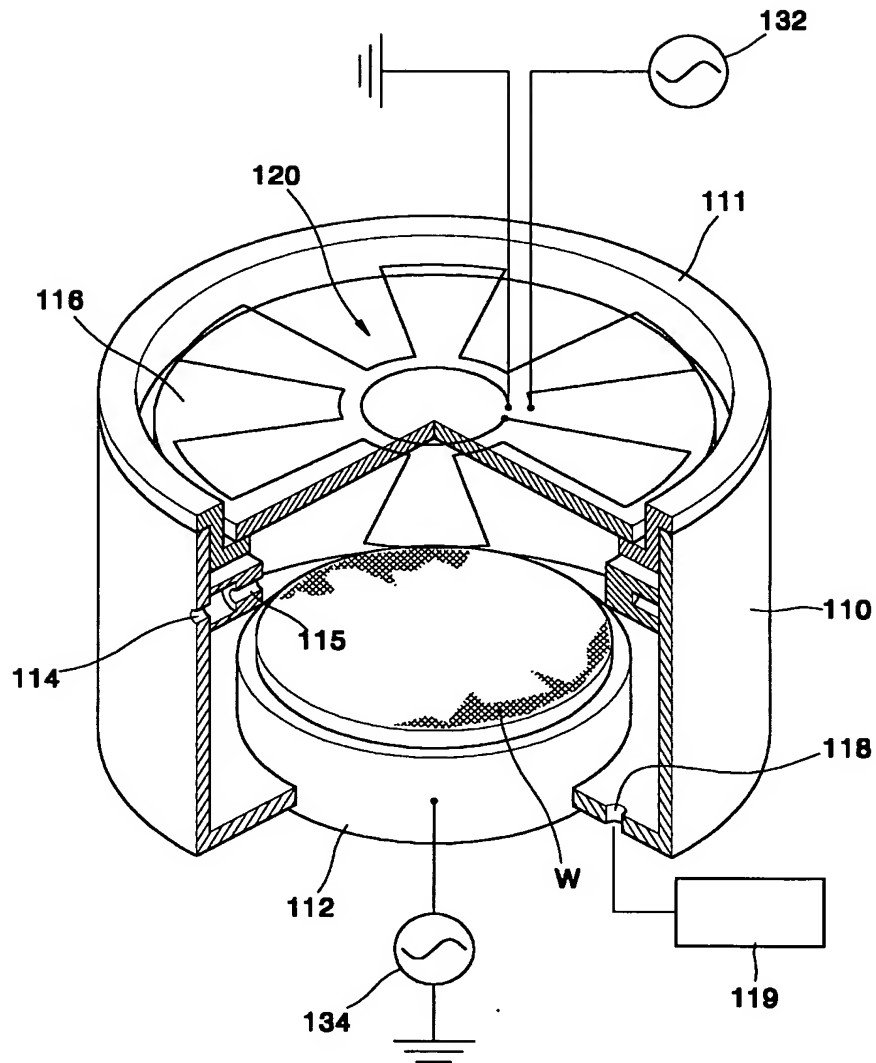
【도 5c】



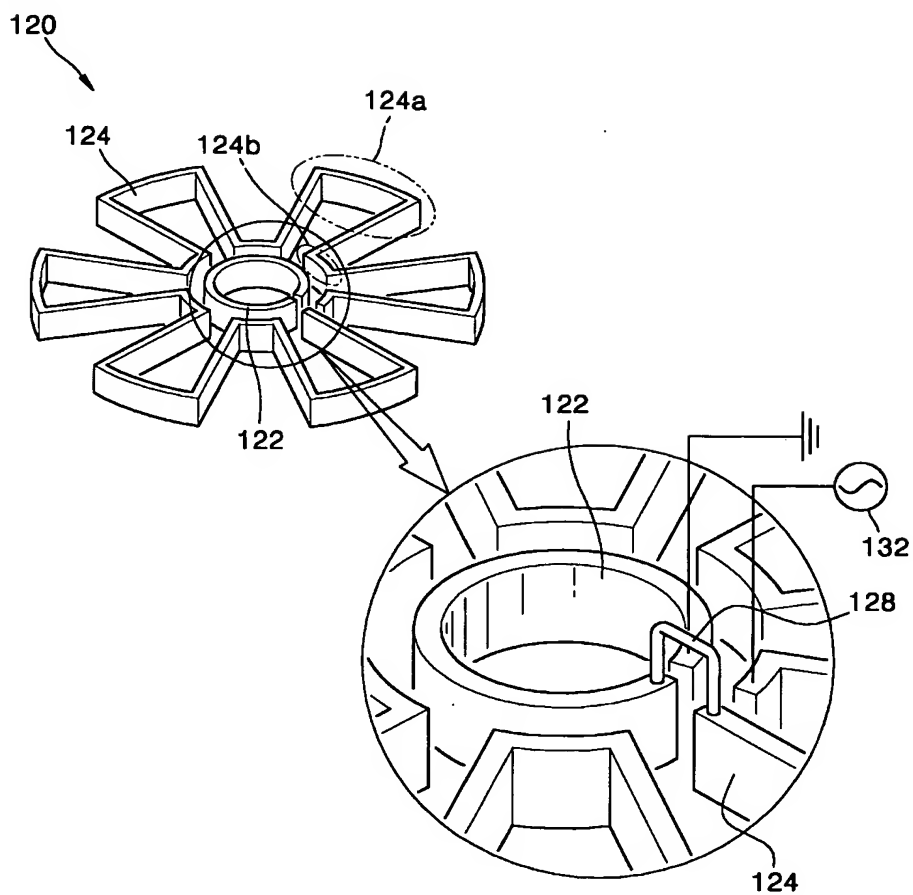
【도 5d】



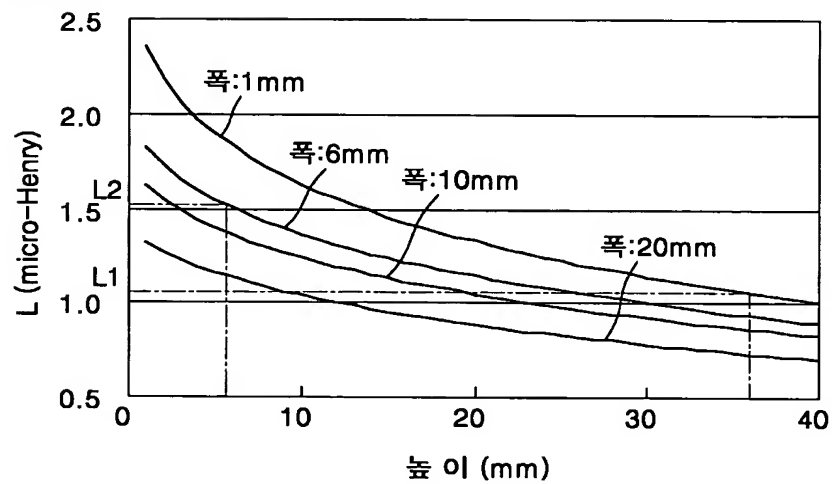
【도 6】



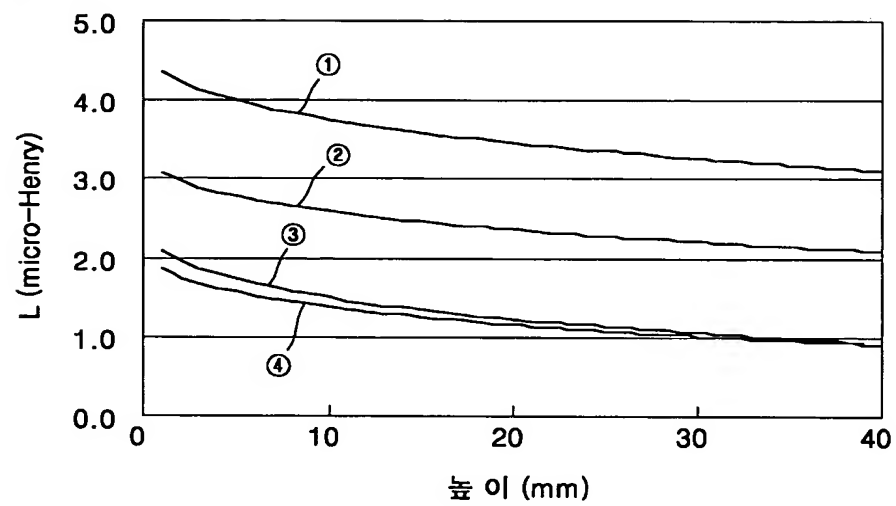
【도 7】



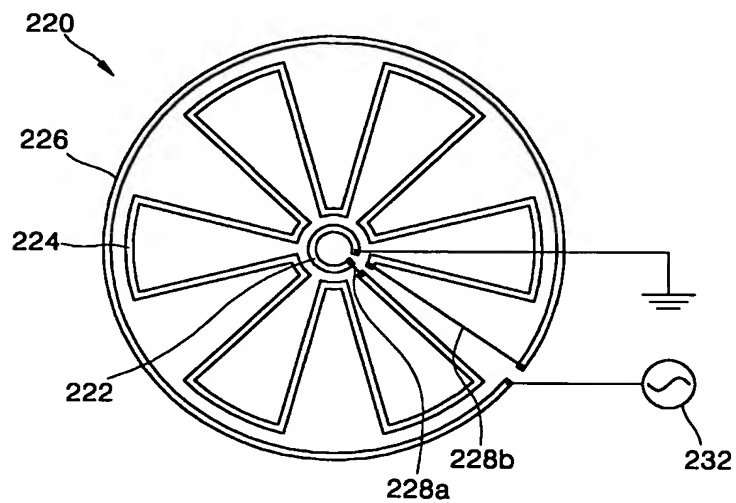
【도 8】



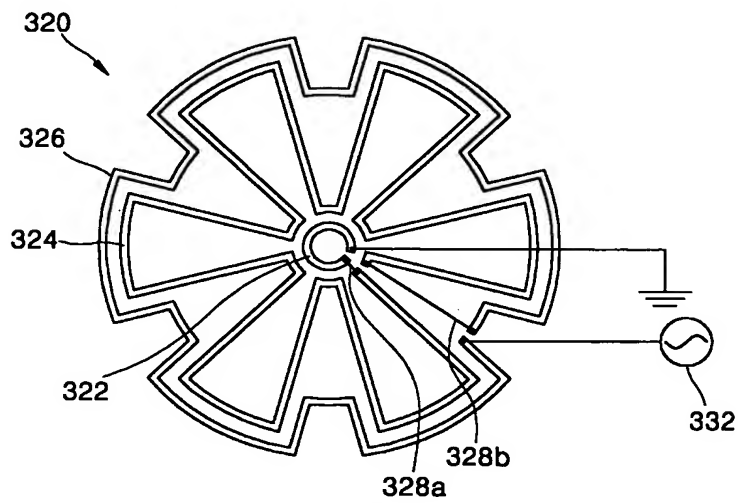
【도 9】



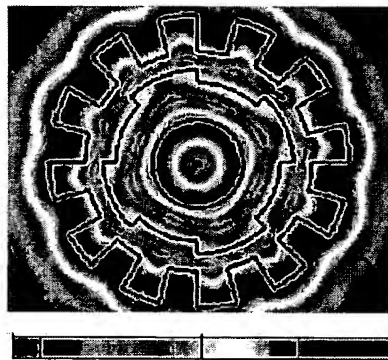
【도 10】



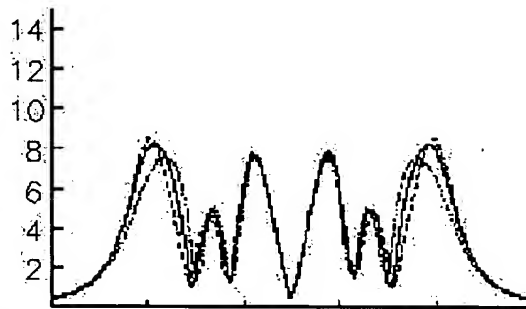
【도 11】



【도 12a】

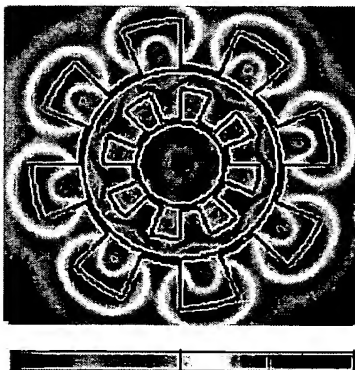


B_r 의 세기

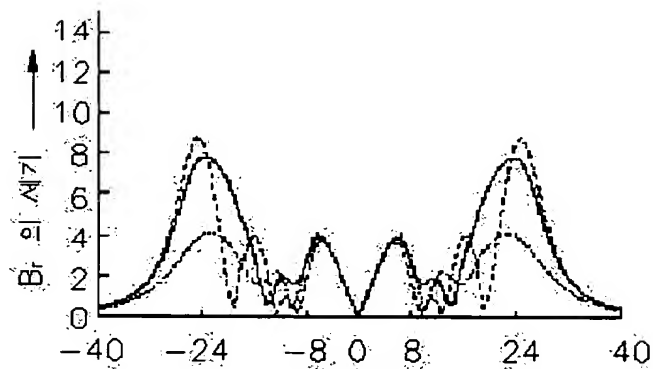


안테나 중심으로 부터의 거리

【도 12b】

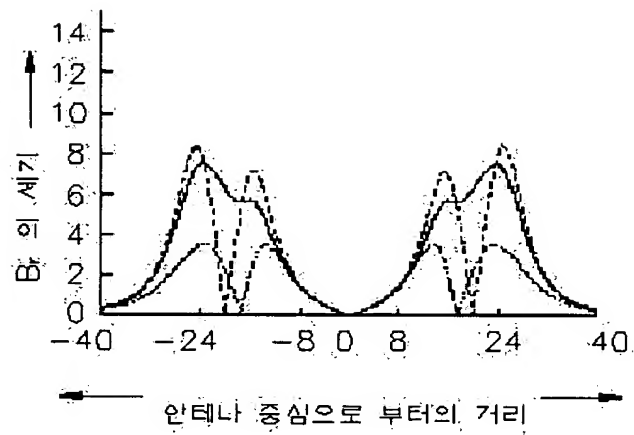
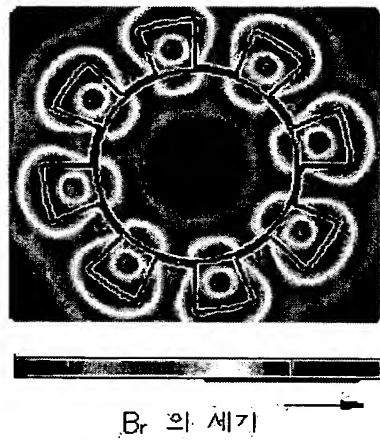


B_r 의 세기

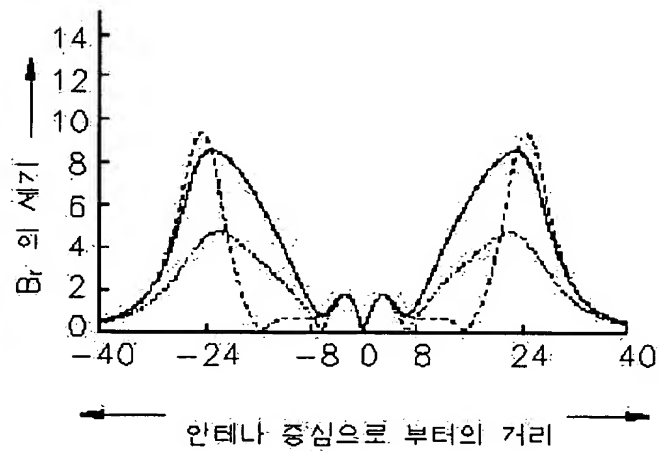
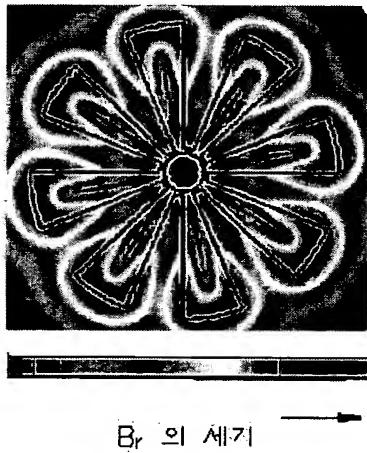


안테나 중심으로 부터의 거리

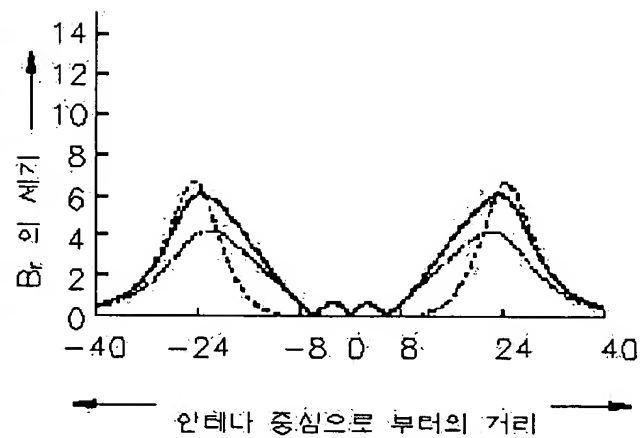
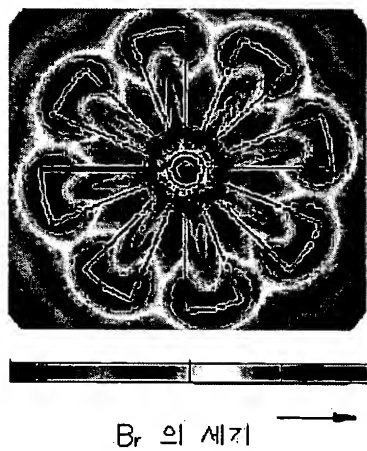
【도 12c】



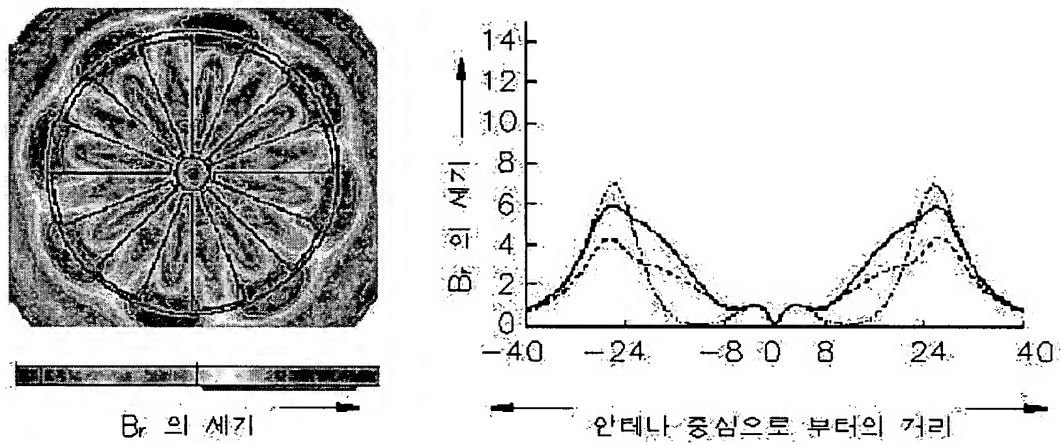
【도 12d】



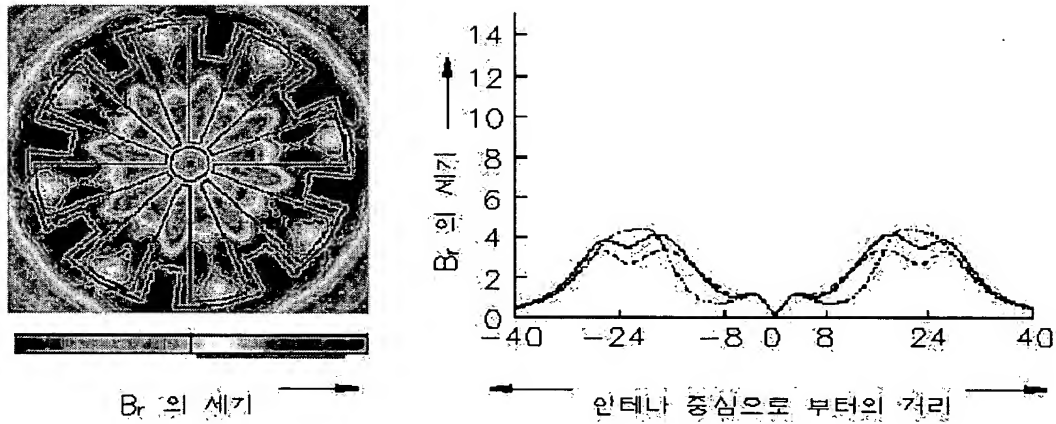
【도 12e】



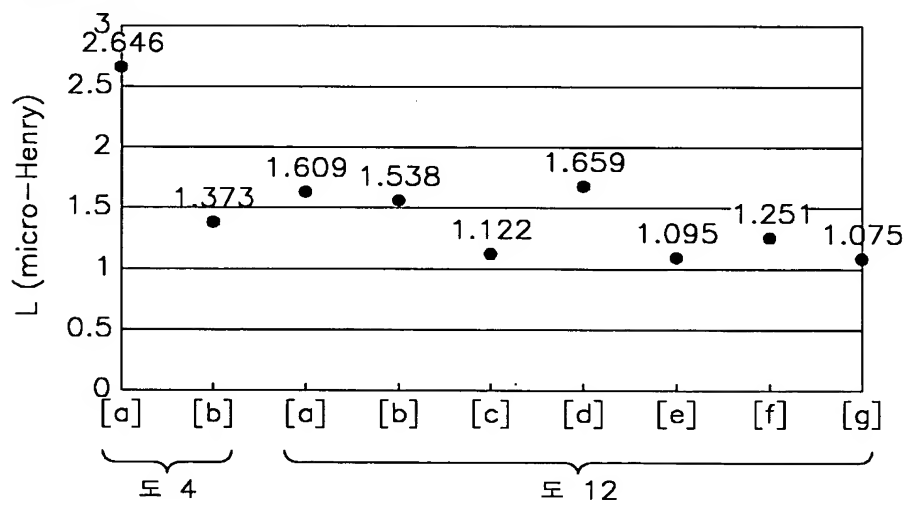
【도 12f】



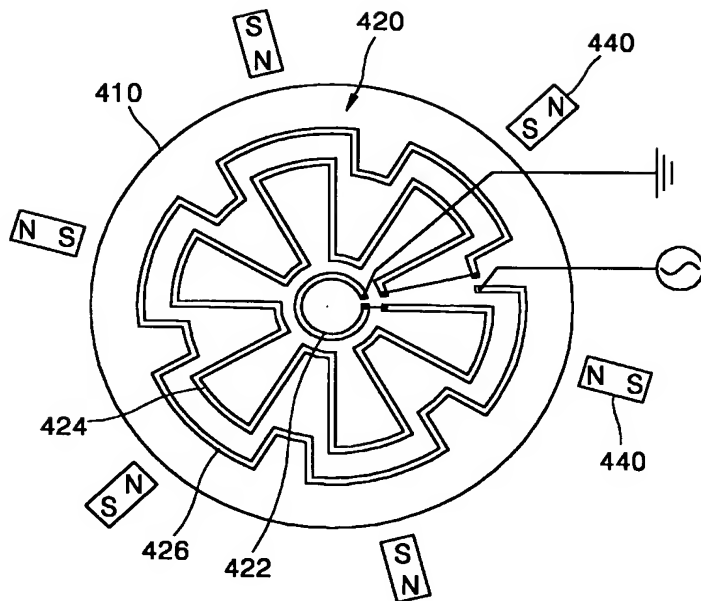
【도 12g】



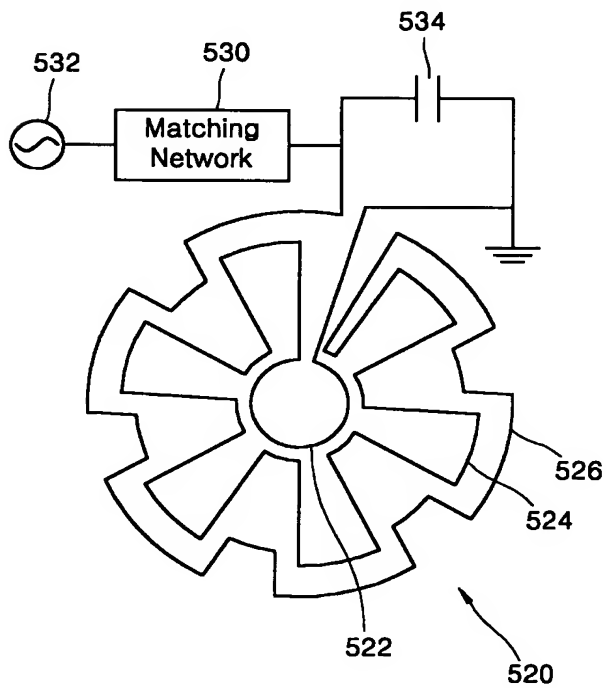
【도 13】



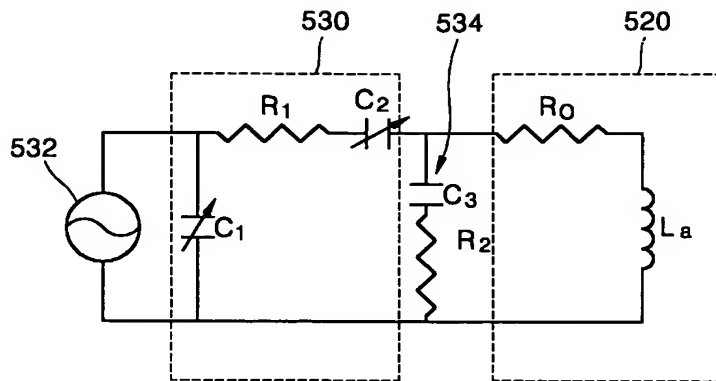
【도 14】



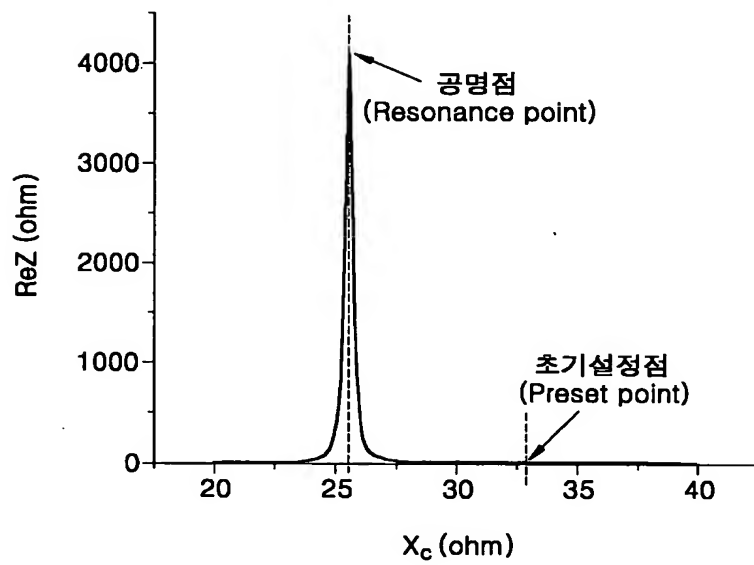
【도 15】



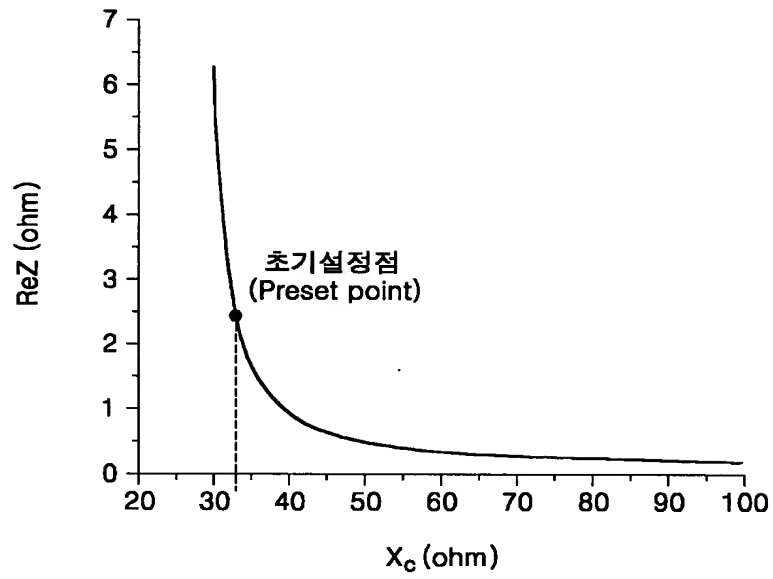
【도 16】



【도 17a】



【도 17b】



【도 17c】

